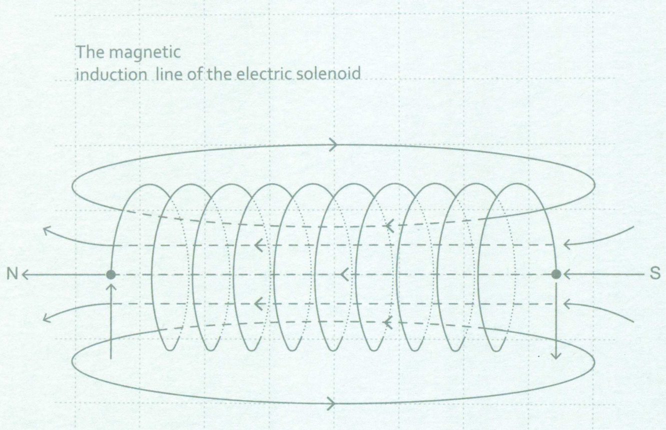
小猿书社

温应春 / 著

搞定电磁学

攻克电磁学，这一本就够了



高中物理

PHYSICS

满分之路

团结出版社

目录

选修3-1　静电场

第一讲　电场力的性质 …… 1

第二讲　电场能的性质 …… 9

第三讲　电场线与等势面 …… 15

第四讲　关于电容器的动态讨论 …… 19

第五讲　静电场的图象问题 …… 23

第六讲　带电粒子在电场中的运动 …… 27

选修3-1　恒定电流

第七讲　部分电路的基本规律 …… 37

第八讲　闭合电路欧姆定律 …… 43

第九讲　以串、并联为原理的电学实验 …… 52

第十讲　以欧姆定律为原理的电学实验 …… 61

第十一讲　以闭合电路的欧姆定律为原理的实验 …… 70

选修 3-1 磁 场

第十二讲 安培力作用下导体棒的平衡 …………………… 77

第十三讲 带电粒子在磁场中的运动 …………………… 82

第十四讲 带电粒子在对接场中的运动 …………………… 90

第十五讲 带电粒子在叠加场中的运动 …………………… 98

第十六讲 粒子源问题讨论 …………………… 107

选修 3-2 电磁感应

第十七讲 楞次定律和法拉第电磁感应定律 …………………… 113

第十八讲 涡流、自感、电磁阻尼 …………………… 123

第十九讲 电磁感应力、电、能综合问题 …………………… 130

第二十讲 电磁感应的图象问题 …………………… 138

选修 3-2 交流电

第二十一讲 交流电的产生与描述 …………………… 145

第二十二讲 变压器与电能的输送 …………………… 155

选修 3-2 传感器

第二十三讲 传感器的工作原理 …………………… 163

答案与解析 …………………… 167

选修 3-1　静电场

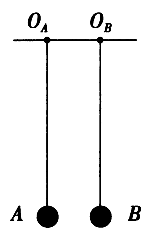
第一讲　电场力的性质

内容导读

电场是一种特殊的物质，电荷与电荷之间的相互作用，必须通过电场这种媒介才能间接实现. 电场有两个最基本的性质，力的性质和能的性质. 本讲重点讲述电场力的性质，以及描述电场力性质的物理量——电场强度.

典例剖析

【例 1】(2016 · 高考浙江卷)如图所示，把 A、B 两个相同的导电小球分别用长为 0.10 m 的绝缘细线悬挂于 O_A 和 O_B 两点. 用丝绸摩擦过的玻璃棒与 A 球接触，棒移开后将悬点 O_B 移到 O_A 点固定. 两球接触后分开，平衡时距离为 0.12 m. 已测得每个小球质量是 8.0×10^{-4} kg，带电小球可视为点电荷，重力加速度 $g=10\ \text{m/s}^2$，静电力常量 $k=9.0\times10^{9}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$，则　　(　　)



A. 两球所带电荷量相等

B. A 球所受的静电力为 1.0×10^{-2} N

C. B 球所带的电荷量为 $4\sqrt{6}\times10^{-8}$ C

D. A、B 两球连线中点处的电场强度为 0

● 解析

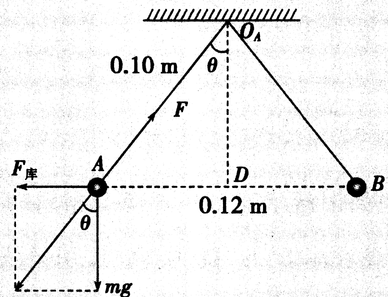
[答案]　ACD

[分析]

用丝绸摩擦过的玻璃棒带正电，由于 A、B 两导电小球完全相同且原来均不带电，因此接触起电后，二者带等量同种正电荷. 两球悬线等长，在库仑斥力作用下，两球关于过悬点 O_A 的竖直线对称.

●解析

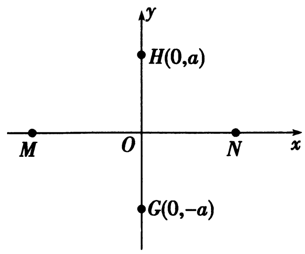
根据摩擦起电和接触起电的知识，可知选项 A 正确. 对 A 受力分析如图所示，设悬点 O_A 到两球连线的距离为 O_AD，根据相似三角形法，有 $\frac{F_{库}}{mg}=\frac{AD}{O_AD}$，依据图形对称性，有 $AD=\frac{1}{2}AB=0.06\ \text{m}$. 再由几何关系，有 $O_AD=0.08\ \text{m}$，代入得 $F_{库}=6\times10^{-3}\ \text{N}$. 最后根据库仑定律 $F_{库}=k\frac{q^2}{AB^2}$，解得两小球电荷量均为 $q=4\sqrt{6}\times10^{-8}\ \text{C}$，选项 B 错误，C 正确；等量同种电荷连线的中点处，根据场强叠加原理，电场强度为 0，选项 D 正确.



[小结]

1. 静电场由静电荷产生，静电荷是产生静电场的源头. 关于电荷要着重区分场源电荷、试探电荷、元电荷、静电荷、(净)电荷和点电荷等六类电荷的不同概念.
2. 使物体带电的过程叫起电，起电的方式主要有三种，摩擦起电、接触起电和感应起电.
3. 库仑定律与相似三角形法往往联袂登场，因此构建图形的标量三角形和力的矢量三角形，再建立相似比是解决此类问题的一般方法.
4. 库仑定律和电荷守恒定律是经典电磁学大厦的两大柱石，贯穿了电磁学内容的始终.

【例 2】(2015 · 高考山东卷)直角坐标系 xOy 中,M、N 两点位于 x 轴上,G、H 两点坐标如图.M、N 两点各固定一负点电荷,一电量为 Q 的正点电荷置于 O 点时,G 点处的电场强度恰好为零.静电力常量用 k 表示.若将该正点电荷移到 G 点,则 H 点处场强的大小和方向分别为 (　　)



A. $\frac{3kQ}{4a^2}$,沿 y 轴正向　　B. $\frac{3kQ}{4a^2}$,沿 y 轴负向

C. $\frac{5kQ}{4a^2}$,沿 y 轴正向　　D. $\frac{5kQ}{4a^2}$,沿 y 轴负向

● 解析

［答案］ B

［分析］

由于 H 点和 G 点关于 x 轴对称,因此 M、N 两处的负电荷在 H 点和 G 点产生的场强大小相等、方向相反;再根据原来三个电荷在 G 点处产生的合场强为零,可知 M、N 两处的负电荷在 G 点产生的场强大小.最后在 H 点再进行叠加,从而解决本题.

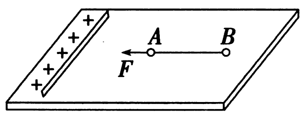
处于 O 点的正点电荷在 G 点处产生的场强 $E_1=k\frac{Q}{a^2}$,方向沿 y 轴负向;又因为 G 点处场强为零,所以 M、N 处两负点电荷在 G 点共同产生的场强 $E_2=E_1=k\frac{Q}{a^2}$,方向沿 y 轴正向;根据对称性,M、N 处两负点电荷在 H 点共同产生的场强 $E_3=E_2=k\frac{Q}{a^2}$,方向沿 y 轴负向;将该正点电荷移到 G 处,该正点电荷在 H 点产生的场强 $E_4=k\frac{Q}{(2a)^2}$,方向沿 y 轴正向,所以 H 点的场强 $E=E_3-E_4=\frac{3kQ}{4a^2}$,方向沿 y 轴负向.

●解析

［小结］

1. 当一个空间存在多个场源电荷建立的电场时，要根据场强叠加原理计算各处的合场强，即根据平行四边形定则将场强矢量进行合成. 比如静电平衡建立的过程，就是原电场和感应电荷电场叠加的过程.
2. 根据空间对称性求解叠加场的合场强是一种很重要的思维方法；在求等量同种或异种电荷连线中垂线上的合电场时经常用到它.

【例 3】(2014·湖北模拟卷)如图所示，在光滑绝缘水平面上放置一带正电的长直细棒，其周围产生垂直于带电细棒的辐射状电场，场强大小 E 与距细棒的垂直距离 r 成反比，即 $E=\frac{k}{r}$. 在带电长直细棒右侧，有一长为 l 的绝缘细线连接了两个质量均为 m 的带电小球 A 和 B，小球 A、B 所带电荷量分别为 $+q$ 和 $+4q$，A 球距直棒的距离也为 l，两小球在外力 $F=2mg$ 的作用下处于静止状态. 不计两小球之间的静电力作用.



(1)求 k 的值；

(2)若撤去外力 F，求在撤去外力瞬时 A、B 小球的加速度大小和 A、B 小球间绝缘细线的拉力大小.

●解析

［答案］ (1)$\frac{2mgl}{3q}$ (2)$a_A=a_B=g$ $\frac{1}{3}mg$

［分析］

水平面是光滑的，当两小球处于静止状态时，根据整体法，外力 F 与两小球所受带电细棒的静电斥力的合力为零，从而可得 k 的数值. 若撤去外力 F，由于带电细棒对 B 球斥力较大，因此细线依旧是张紧的，两球加速度相等.

解析

(1)对小球 A、B 及细线构成的整体进行受力分析,根据力的平衡条件,有:

$$q\frac{k}{l}+4q\frac{k}{2l}=2mg$$

解得:$k=\frac{2mgl}{3q}$.

(2)撤去外力瞬时,若 A、B 间细线拉力突然变为零,则:

对 A 球:$q\cdot\frac{k}{l}=ma_A$ 得 $a_A=\frac{kq}{ml}$,方向向右.

对 B 球:$4q\cdot\frac{k}{2l}=ma_B$ 得 $a_B=\frac{2kq}{ml}$,方向向右.

由于 $a_A<a_B$,所以在撤去外力瞬时 A、B 将以相同的加速度 a 一起向右运动,A、B 间绝缘细线张紧,细线上有拉力 F_T 存在.因此对 A、B 整体,由牛顿第二定律有:

$$q\cdot\frac{k}{l}+4q\cdot\frac{k}{2l}=2ma$$

解得:$a=g$

对 A:$q\cdot\frac{k}{l}+F_T=ma$

解得:$F_T=\frac{1}{3}mg$

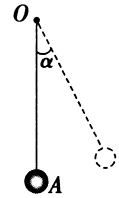
故撤去外力瞬时,A、B 的加速度大小 $a=g$;A、B 小球间绝缘细线的拉力大小 $F_T=\frac{1}{3}mg$.

[**小结**]

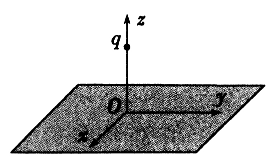
1. 在静电场中,当研究对象是两个或两个以上时,整体法和隔离法依旧有效,电场力只是系统或物体受到的其中一个力而已.
2. 在求力的瞬时性问题时,要注意区分两类截然不同的模型,即轻弹簧模型(力不能瞬间突变),轻杆和轻绳模型(力能瞬间突变).

章节练习

1.(2016·高考上海卷)如图所示,质量为 m 的带电小球 A 用绝缘细线悬挂于 O 点,处于静止状态.施加一水平向右的匀强电场后,A 向右摆动,摆动的最大角度为 60°,则 A 受到的电场力大小为多大?在改变电场强度的大小和方向后,小球 A 的平衡位置在 $\alpha=60°$ 处,然后再将 A 的质量改变为 $2m$,其新的平衡位置在 $\alpha=30°$ 处,A 受到的电场力大小为多少?



2.(2013·高考安徽卷)如图所示,xOy 平面是无穷大导体的表面,该导体充满 $z<0$ 的空间,$z>0$ 的空间为真空.将电荷量为 q 的点电荷置于 z 轴上 $z=h$ 处,则在 xOy 平面上会产生感应电荷.空间任意一点处的电场皆是由点电荷 q 和导体表面上的感应电荷共同激发的.已知静电平衡时导体内部电场强度处处为零,则在 z 轴上 $z=\frac{h}{2}$ 处的电场强度大小为(k 为静电力常量) (   )



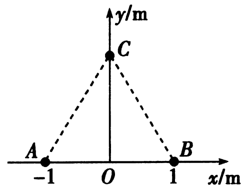
A. $k\frac{4q}{h^2}$

B. $k\frac{4q}{9h^2}$

C. $k\frac{32q}{9h^2}$

D. $k\frac{40q}{9h^2}$

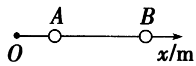
3.(2014·高考福建卷)如图,真空中 xOy 平面直角坐标系上的 ABC 三点构成等边三角形,边长 $L=2.0$ m.若将电荷量均为 $q=+2.0\times10^{-6}$ C的两点电荷分别固定在 A、B 点,已知静电力常量 $k=9.0\times10^{9}$ N·m^2/C^2,求:



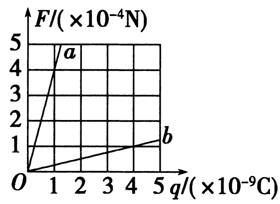
(1)两点电荷间的库仑力大小;

(2)C 点的电场强度的大小和方向.

4.(2017·北京 101 中学模拟)如图甲所示,真空中 Ox 坐标轴上的某点有一个点电荷 Q,坐标轴上 A、B 两点的坐标分别为 0.2 m 和 0.7 m.在 A 点放一个带正电的试探电荷,在 B 点放一个带负电的试探电荷,A、B 两点的试探电荷受到电场力的方向都跟 x 轴正方向相同,电场力的大小 F 跟试探电荷所带电荷量 q 的关系分别如图乙中直线 a、b 所示.下列说法正确的是 ( )



甲



乙

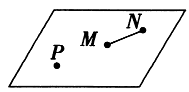
A. B 点的电场强度的大小为 0.25 N/C

B. A 点的电场强度的方向沿 x 轴负方向

C. 点电荷 Q 是正电荷

D. 点电荷 Q 的位置坐标为 0.3 m

5.(2014·高考广东卷)如图所示,光滑绝缘的水平桌面上,固定着一个带电量为 $+Q$ 的小球 P,带电量分别为 $-q$ 和 $+2q$ 的小球 M 和 N,由绝缘细杆相连,静止在桌面上,P 与 M 相距 L,P、M 和 N 视为点电荷,下列说法正确的是 ( )



A. M 与 N 的距离大于 L

B. P、M 和 N 在同一直线上

C. 在 P 产生的电场中,M、N 处的电势相同

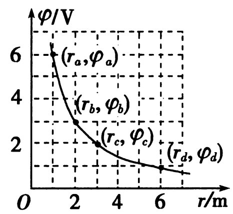
D. M、N 及细杆组成的系统所受合力为零

第二讲 电场能的性质

内容导读

本讲重点讲授电场能的性质，描述电场能的性质的物理量主要有电势、电势差、电场力做功和电势能等，这些概念相互解释，相关内容都是高考考查的重点对象.

典例剖析



【例1】(2017·高考全国卷Ⅰ)在一静止点电荷的电场中，任一点的电势 φ 与该点到点电荷的距离 r 的关系如图所示. 电场中四个点 a、b、c 和 d 的电场强度大小分别为 E_a、E_b、E_c 和 E_d. 点 a 到点电荷的距离 r_a 与点 a 的电势 φ_a 已在图中用坐标(r_a，φ_a)标出，其余类推. 现将一带正电的试探电荷由 a 点依次经 b、c 点移动到 d 点，在相邻两点间移动的过程中，电场力所做的功分别为 W_{ab}、W_{bc} 和 W_{cd}. 下列选项正确的是 (　　)

A. $E_a:E_b=4:1$　　　　B. $E_c:E_d=2:1$

C. $W_{ab}:W_{bc}=3:1$　　　　D. $W_{bc}:W_{cd}=1:3$

●解析

[**答案**]　AC

[**分析**]

电场是点电荷建立的电场，由图象可知 a、b、c、d 四点与场源电荷的距离. 四点处场强与距离的二次方成反比；计算做功的关键是电势差，电势差就是始末两点的电势之差，由图象的纵坐标计算.

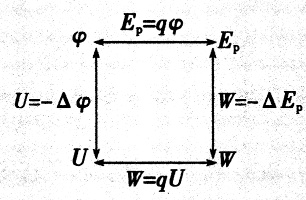
真空中静止点电荷的场强公式为 $E=k\dfrac{Q}{r^2}$，E 与 r^2 成反比关系. 由于 $r_a:r_b=1:2$，则 $E_a:E_b=4:1$，选项 A 正确. 同理选项 B 错误. 电场力做功 $W_{AB}=qU_{AB}$，电势差 $U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$，结合图象有 $U_{ab}=3$ V，$U_{bc}=1$ V，得 $W_{ab}:W_{bc}=3:1$，选项 C 正确. $U_{cd}=1$ V，得 $W_{bc}:W_{cd}=1:1$，选项 D 错误.

●解析

[小结]

1. 点电荷的电场场强公式为 $E=k\frac{Q}{r^2}$；电势公式为 $\varphi=k\frac{Q}{r}$，正点电荷电场中各点电势均为正，负点电荷电场中各点电势均为负.

2. 描述电场能的性质的物理量有四个，即电势、电势差、电势能和电场力做功，它们相互联系，相互解释，四个量之间的联系可用下列图式表示：

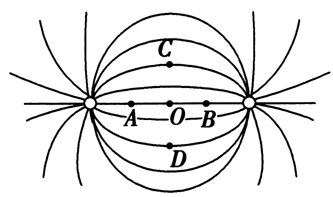


$$U_{AB}=\frac{W_{AB}}{q}=\frac{E_{pA}-E_{pB}}{q}=\frac{q\varphi_A-q\varphi_B}{q}=\varphi_A-\varphi_B=-U_{BA}.$$

3. 凡与电场力性质有关的公式，电荷一律不带正负，引力、斥力的方向用文字表达；凡与电场能有关的公式，各个物理量一律要带正负，并进行讨论. 沿电场线电势差为正，逆电场线电势差为负.

4. 正电荷沿(逆)电场线方向移动，电势能降低(升高)；负电荷沿(逆)电场线方向移动，电势能升高(降低).

【例2】(2017·广东省茂名市信宜中学检测)如图所示为两个等量点电荷的电场线，图中 A 点和 B 点、C 点和 D 点皆关于两电荷连线的中点 O 对称，若将一电荷放在此电场中，则以下说法正确的是 (　　)



A. 电荷在 O 点受力最大

B. 电荷沿直线由 A 到 B 的过程中，电场力先增大后减小

C. 电荷沿直线由 A 到 B 的过程中，电势能先增大后减小

D. 电荷沿直线由 C 到 D 的过程中，电场力先增大后减小

●解析

[答案]　D

[分析]

根据电场线的分布，可以断定该电场为等量异种点电荷的电场，至于具体谁为正谁为负无法确定，因此电场线的方向也无法确定. 场强的大小可以根据电场线的疏密判断.

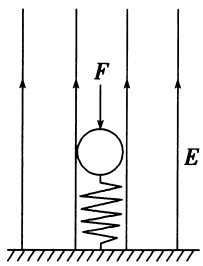
● 解析

根据电场线的疏密分布，在 A、B 连线方向，O 点场强最小；在 C、D 连线方向，O 点场强最大，因此选项 A、B 错误，D 正确．由于两异种场源电荷中正电荷究竟在哪边无法确定，因此电场线的方向不明确；加之试探电荷的电性未知，所以电势能究竟如何变化无法判断，选项 C 错误．

[**小结**]

1. 等量电荷电场中各点的场强，要根据平行四边形定则进行矢量合成；各点电势，要根据代数运算法则求代数和．
2. 等量异种电荷的电场线分布犹如"携手合作"，在电荷连线上中点处场强最小，中垂线上该点场强却最大；中垂线是电势为零的等势线，以中垂线为界，在正电荷一侧电势均为正，在负电荷一侧电势均为负．
3. 等量同种(同正或同负)电荷的电场线分布犹如"势不两立"，在电荷连线上中点处场强最小，且为零；中垂线上场强最大的点与任一电荷连线，和两电荷连线之间的夹角 α 满足 $\tan\alpha=\frac{\sqrt{2}}{2}$，场强的最大值为 $E_m=\frac{16\sqrt{3}}{9}k\frac{Q}{d^2}$($d$ 为两同种电荷之间的距离)；沿着中垂线从中央向两边，等量同正电荷的电势逐渐降低，等量同负电荷的电势逐渐升高．

【例 3】(2016·**北师大附中河南分校三轮冲刺**)如图所示，竖直向上的匀强电场中，绝缘轻质弹簧竖直立于水平地面上，上面放一质量为 m 的带正电小球，小球与弹簧不连接，施加外力 F 将小球向下压至某位置静止．现撤去 F，小球从静止开始运动到离开弹簧的过程中，重力、电场力对小球所做的功分别为 W_1 和 W_2，小球离开弹簧时速度为 v，不计空气阻力，则上述过程中 (   )



A. 小球与弹簧组成的系统机械能守恒

B. 小球的重力势能增加 $-W_1$

C. 小球的机械能增加 $W_1+\frac{1}{2}mv^2$

D. 小球的电势能减少 W_2

●解析

［答案］ BD

［分析］

本题的电场是匀强电场.小球和弹簧组成的系统,机械能包括动能、重力势能和弹性势能,不包括电势能,根据能量转化和守恒定律,机械能与电势能相互转化且守恒,因此机械能的变化量的绝对值等于电势能变化量的绝对值.而电场力做功等于电势能的减少量,重力做功等于重力势能的增加量.

由于电场力做正功,故小球与弹簧组成的系统机械能增加,机械能不守恒,选项 A 错误;重力做功是重力势能变化的量度,由题意知重力做负功,重力势能增加,增加量为$-W_1$,选项 B 正确;小球增加的机械能等于重力势能的增加量与小球动能的增加量之和,即$-W_1+\frac{1}{2}mv^2$,选项 C 错误;根据电场力做功是电势能变化的量度,电场力做正功电势能减少,减少量为 W_2,选项 D 正确.

［小结］

1. 匀强电场的场强 $E=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$与电荷的面密度成正比,与距离极板的距离 r 无关.

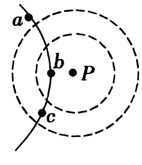
   电场线是垂直于极板的一簇等距平行直线,等势面是一簇平行于极板等距平行平面.

2. 重力与电场力都是恒力且为保守力,做功都与具体的运动路径无关,仅与始末位置有关;重力做功是重力势能变化的量度,电场力做功是电势能变化的量度.保守力做多少正(负)功,相应的势能便减少(增加)多少.

3. 电场力做功,使电势能与其他形式的能量相互转化.

章节练习

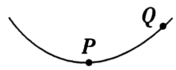
1.(2016·高考全国卷Ⅱ)如图,P 是固定的点电荷,虚线是以 P 为圆心的两个圆.带电粒子 Q 在 P 的电场中运动,运动轨迹与两圆在同一平面内,a、b、c 为轨迹上的三个点.若 Q 仅受 P 的电场力作用,其在 a、b、c 点的加速度大小分别为 a_a、a_b、a_c,速度大小分别为 v_a、v_b、v_c,则 （　　）



A. $a_a>a_b>a_c$,$v_a>v_c>v_b$　　B. $a_a>a_b>a_c$,$v_b>v_c>v_a$

C. $a_b>a_c>a_a$,$v_b>v_c>v_a$　　D. $a_b>a_c>a_a$,$v_a>v_c>v_b$

2.(2016·高考全国卷Ⅰ)如图,一带负电荷的油滴在匀强电场中运动,其轨迹在竖直面(纸面)内,且相对于过轨迹最低点 P 的竖直线对称.忽略空气阻力.由此可知 ( )



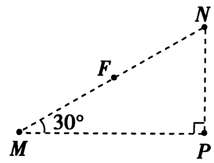
A. Q 点的电势比 P 点高

B. 油滴在 Q 点的动能比它在 P 点的大

C. 油滴在 Q 点的电势能比它在 P 点的大

D. 油滴在 Q 点的加速度大小比它在 P 点的小

3.(2014·高考全国卷Ⅰ)如图,在正点电荷 Q 的电场中有 M、N、P、F 四点,M、N、P 为直角三角形的三个顶点,F 为 MN 的中点,$\angle M=30°$. M、N、P、F 四点处的电势分别用 φ_M、φ_N、φ_P、φ_F 表示,已知 $\varphi_M=\varphi_N$,$\varphi_P=\varphi_F$,点电荷 Q 在 M、N、P 三点所在平面内,则 ( )



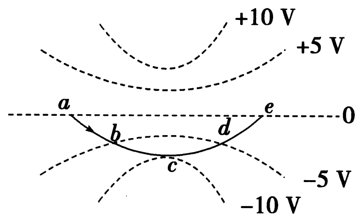
A. 点电荷 Q 一定在 MP 的连线上

B. 连接 PF 的线段一定在同一等势面上

C. 将正试探电荷从 P 点搬运到 N 点,电场力做负功

D. φ_P 大于 φ_M

4.(2014·山东青岛模拟)两个固定的等量异种点电荷所形成电场的等势面如图中虚线所示,一带电粒子以某一速度从图中 a 点进入电场,其运动轨迹为图中实线所示,若粒子只受静电力作用,则下列关于带电粒子的判断正确的是 ( )



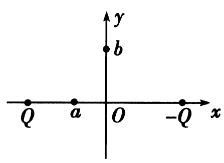
A. 带正电

B. 速度先变大后变小

C. 电势能先变大后变小

D. 经过 b 点和 d 点时的速度大小相等

5.(2015·高考海南卷)如图,两电荷量分别为 $Q(Q>0)$ 和 $-Q$ 的点电荷对称地放置在 x 轴上原点 O 的两侧,a 点位于 x 轴上 O 点与电荷 Q 之间,b 点位于 y 轴 O 点上方.取无穷远处的电势为零.下列说法正确的是 ( )



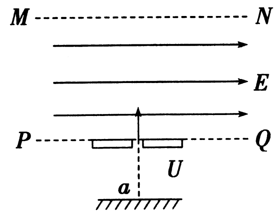
A. b 点电势为零，电场强度也为零

B. 正的试探电荷在 a 点的电势能大于零，所受电场力方向向右

C. 将正的试探电荷从 O 点移到 a 点，必须克服电场力做功

D. 将同一正的试探电荷先后从 O、b 两点移到 a 点，后者电势能的变化较大

6.（2015·江苏淮安淮海中学高三模拟）如图所示，虚线 PQ、MN 间存在如图所示的水平匀强电场，一带电粒子质量为 $m=2.0\times10^{-11}$ kg、电荷量为 $q=+1.0\times10^{-5}$ C，从 a 点由静止开始经电压为 $U=100$ V 的电场加速后，垂直于匀强电场方向进入匀强电场中，从虚线 MN 上的某点 b（图中未画出）离开匀强电场时速度与电场方向成 30°角．已知 PQ、MN 间距离为 20 cm，带电粒子的重力忽略不计．求：



(1)带电粒子刚进入匀强电场时的速度 v_1；

(2)匀强电场的场强大小；

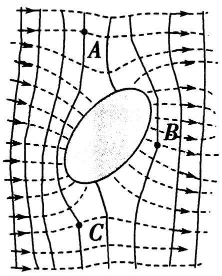
(3)ab 两点间的电势差．

第三讲 电场线与等势面

内容导读

电场线和等势面都是为了形象描述电场而引入的概念，都是假想出来的东西．电场线描述电场力的性质，等势面描述电场能的性质．

典例剖析



【例】(2015·河北邢台检测)某导体置于电场后周围的电场分布情况如图所示，图中虚线表示电场线，实线表示等势面，A、B、C 为电场中的三个点．下列说法正确的是 (　　)

A. A 点的电场强度小于 B 点的电场强度

B. A 点的电势高于 B 点的电势

C. 将负电荷从 A 点移到 B 点，电场力做正功

D. 将正电荷从 A 点移到 C 点，电场力做功为零

●解析

［答案］ ABD

［分析］

场强大小看电场线的疏密，电势高低看电场线的方向，试探电荷做什么功，不仅要看粒子的电性，还要看始末等势面．

电场线的疏密表示电场强度的大小，A 处电场线比 B 处稀疏，选项 A 正确；在同一等势面上电势相等且沿着电场线的方向电势逐渐降低，所以 A 点的电势高于 B 点的电势，选项 B 正确；将负电荷从 A 点移到 B 点，电场力做负功，选项 C 错误；A 点、C 点在同一个等势面上，将正电荷从 A 点移到 C 点，电场力做功为零，选项 D 正确．

●解析

[小结]

1. 电场线是为了形象描述电场力的性质而引入的假想曲线，等势面是为了形象描述电场能的性质而引入的假想曲面. 电场线的疏密表示场强的大小，切向表示场强的方向；等势面的疏密表示电势差的大小.

2. 电场线与等势面的关系：(1)沿线降低；(2)处处正交；(3)同密同疏.

3. 点电荷的电场线与等势面的分布规律都是近密远疏；匀强电场的电场线与等势面的分布规律都是均匀分布. 同时要依据第二条规律牢记等量电荷电场的电场线和等势面的分布图景.

4. 电场线与等势面的关系，就是场强与电势差的关系. 关系 $E=\frac{U}{d}$ 和 $U=dE$ 根据电场力做功推导而来，因此仅适用于匀强电场的计算和讨论，对于非匀强电场虽然不能进行计算，但可以做定性讨论，有结论"平均场强大处电势差大，电势差大处平均场强大"成立.

章节练习

1.(2016·高考全国卷Ⅲ)关于静电场的等势面，下列说法正确的是 ( )

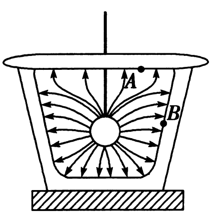
A. 两个电势不同的等势面可能相交

B. 电场线与等势面处处相互垂直

C. 同一等势面上各点电场强度一定相等

D. 将一负的试探电荷从电势较高的等势面移至电势较低的等势面，电场力做正功

2.(2016·高考江苏卷)一金属容器置于绝缘板上，带电小球用绝缘细线悬挂于容器中，容器内的电场线分布如图所示. 容器内表面为等势面，A、B 为容器内表面上的两点，下列说法正确的是 ( )



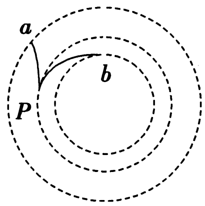
A. A 点的电场强度比 B 点的大

B. 小球表面的电势比容器内表面的低

C. B 点的电场强度方向与该处内表面垂直

D. 将检验电荷从 A 点沿不同路径移到 B 点，电场力所做的功不同

3.(2017·黑龙江牡丹江市第一中学模拟)图中虚线是某电场的一组等势面.两个带电粒子从 P 点沿等势面的切线方向射入电场,粒子仅受电场力作用,运动轨迹如实线所示,a、b 是实线与虚线的交点.下列说法正确的是 ( )



A. 两粒子的电性相同

B. a 点的场强小于 b 点的场强

C. a 点的电势高于 b 点的电势

D. 与 P 点相比两个粒子的电势能均增大

4.(2014·高考全国卷Ⅱ)关于静电场的电场强度和电势,下列说法正确的是 ( )

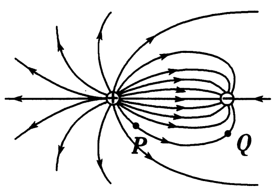
A. 电场强度的方向处处与等电势面垂直

B. 电场强度为零的地方,电势也为零

C. 随着电场强度的大小逐渐减小,电势也逐渐降低

D. 任一点的电场强度总是指向该点电势降落最快的方向

5.(2016·广州模拟)正、负点电荷周围的电场线分布如图所示,P、Q 为其中两点,则带正电的试探电荷 ( )



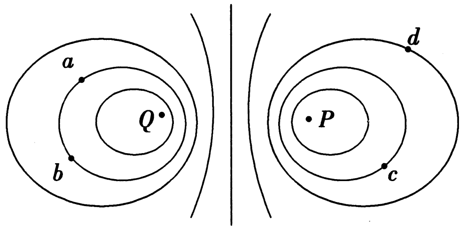
A. 从 P 点由静止释放后会运动到 Q 点

B. 从 P 点移动到 Q 点,电场力做正功

C. 在 P 点的电势能小于在 Q 点的电势能

D. 在 P 点所受电场力小于在 Q 点所受电场力

6.(2015·吉林延边期末)空间中 P、Q 两点处各固定一个点电荷，其中 P 点处为正电荷，P、Q 两点附近电场的等势面分布如图所示，a、b、c、d 为电场中的 4 个点，则 ( )



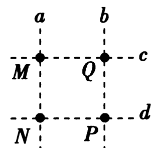
A. P、Q 两点处的电荷为等量同种电荷

B. a 点和 b 点的电场强度相同

C. c 点的电势低于 d 点的电势

D. 负电荷从 a 到 c，电势能减少

7.(2015·高考全国卷Ⅰ)如图，直线 a、b 和 c、d 是处于匀强电场中的两组平行线，M、N、P、Q 是它们的交点，四点处的电势分别为 φ_M、φ_N、φ_P、φ_Q. 一电子由 M 点分别运动到 N 点和 P 点的过程中，电场力所做的负功相等. 则 ( )



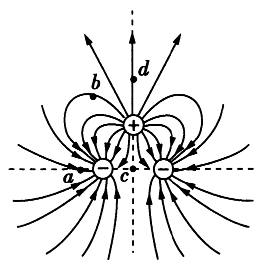
A. 直线 a 位于某一等势面内，$\varphi_M>\varphi_Q$

B. 直线 c 位于某一等势面内，$\varphi_M>\varphi_N$

C. 若电子由 M 点运动到 Q 点，电场力做正功

D. 若电子由 P 点运动到 Q 点，电场力做负功

8.(2015·高考江苏卷)两个相同的负电荷和一个正电荷附近的电场线分布如图所示. c 是两负电荷连线的中点，d 点在正电荷的正上方，c、d 到正电荷的距离相等，则 ( )



A. a 点的电场强度比 b 点的大

B. a 点的电势比 b 点的高

C. c 点的电场强度比 d 点的大

D. c 点的电势比 d 点的低

第四讲 关于电容器的动态讨论

内容导读

关于电容器的动态讨论问题也是高考常考的对象，此类问题一般分为两小类，解法一般是紧扣不变量，通过三个式子讨论三个物理量的变化情况.

典例剖析

【例 1】(2016·高考全国卷Ⅰ)一平行板电容器两极板之间充满云母介质，接在恒压直流电源上.若将云母介质移出，则电容器 ( )

A. 极板上的电荷量变大，极板间电场强度变大

B. 极板上的电荷量变小，极板间电场强度变大

C. 极板上的电荷量变大，极板间电场强度不变

D. 极板上的电荷量变小，极板间电场强度不变

●解析

[答案] D

[分析]

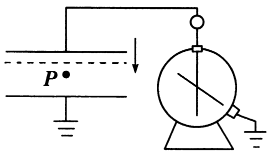
电容器与电源相连，电压不变，紧扣不变量就可以讨论其他量的变化了.

由平行板电容器电容的决定式 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，将云母介质移出，电容 C 减小，而两极板的电压 U 恒定，由 $Q=CU$，极板上的电荷量 Q 变小，又由 $E=\frac{U}{d}$ 可得板间电场强度与介质无关，大小不变，选项 D 正确.

[小结]

当改变电容器的正对面积 S、两板之间的距离 d 和电介质 ε_r 时，若电容器与电源相连，则两板之间的电压 U 不变.而其他三个物理量的变化规律是：电容 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，电容器所带电量 $Q=UC=U\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$，两板之间的场强 $E=\frac{U}{d}\propto\frac{1}{d}$（仅与 d 有关）.

【例 2】(2016·高考天津卷)如图所示,平行板电容器带有等量异种电荷,与静电计相连,静电计金属外壳和电容器下极板都接地.在两极板间有一个固定在 P 点的点电荷,以 E 表示两板间的电场强度,E_p 表示点电荷在 P 点的电势能,θ 表示静电计指针的偏角.若保持下极板不动,将上极板向下移动一小段距离至图中虚线位置,则 ( )



A. θ 增大,E 增大　　B. θ 增大,E_p 不变

C. θ 减小,E_p 增大　　D. θ 减小,E 不变

●解析

[答案] D

[分析]

电容器与电源断开,则电容器所带电量 Q 不变.

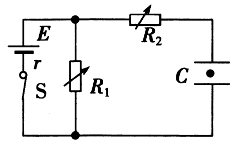
保持下极板不动,上极板向下移动一小段距离后,由 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 可知电容器的电容变大,由于 Q 不变,由 $C=\frac{Q}{U}$ 可知 U 减小,故静电计的指针偏角变小;电场强度 $E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$ 不变;由于下极板不动,电场强度 E 不变,所以 P 点的电势没有发生改变,故点电荷在 P 点的电势能不变,选项 A、B、C 错误,D 正确.

[小结]

当改变电容器的正对面积 S、两板之间的距离 d 和电介质 ε_r 时,若电容器与电源断开,则电容器所带电量 Q 不变.而其他三个物理量的变化规律是:电容 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$,两板之间的电压 $U=\frac{Q}{C}=\frac{Q}{\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}}$,两板之间的场强 $E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$(仅与 d 无关).

章节练习

1.(2014·高考天津卷)如图所示,电路中 R_1、R_2 均为可变电阻,电源内阻不能忽略,平行板电容器 C 的极板水平放置,闭合电键 S,电路达到稳定时,带电油滴悬浮在两板之间静止不动.如果仅改变下列某一个条件,油滴仍能静止不动的是 ( )



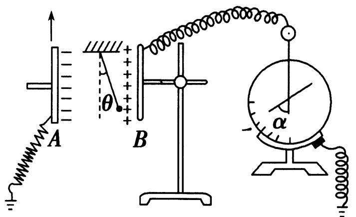
A. 增大 R_1 的阻值

B. 增大 R_2 的阻值

C. 增大两板间的距离

D. 断开电键 S

2.(2016·浙江协作校期中)如图所示的实验装置中,平行板电容器两极板的正对面积为 S,两极板的间距为 d,电容器所带电荷量为 Q,电容为 C,静电计指针的偏转角为 α,平行板中间悬挂了一个带电小球,悬线与竖直方向的夹角为 θ,下列说法正确的是 ( )



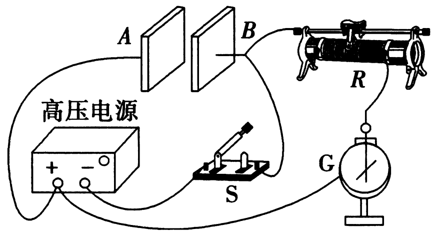
A. 若增大 d,则 α 减小,θ 减小

B. 若增大 Q,则 α 减小,θ 不变

C. 将 A 板向上提一些,α 增大,θ 增大

D. 在两板间插入云母片,则 α 减小,θ 不变

3.(2016·湖北部分重点中学联考)静电计是在验电器的基础上制成的,用其指针张角的大小来定性显示其金属球与外壳之间的电势差大小.如图所示,A、B是平行板电容器的两个金属板,G为静电计,开始时开关S闭合,静电计指针张开一定角度,为了使指针张开的角度增大些,下列采取的措施可行的是 (　　)



A. 断开开关S后,将A、B两极板分开些

B. 保持开关S闭合,将A、B两极板分开些

C. 保持开关S闭合,将A、B两极板靠近些

D. 保持开关S闭合,将滑动变阻器滑动触头向右移动

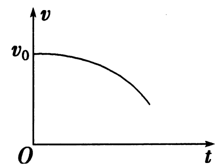
第五讲 静电场的图象问题

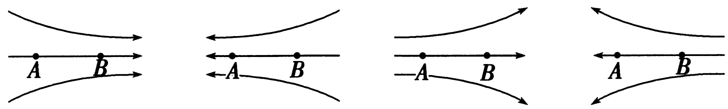
内容导读

静电场的图象是静电场的一个难点，解决图象问题，一般要从斜率、面积、截距，以及自身的物理意义入手.

典例剖析

【例 1】(2018·北京西城区高三模拟)一正点电荷仅受电场力作用，从电场中的 A 点运动到 B 点，其 $v-t$ 图象如图所示. 则该点电荷所处的电场可能是 ( )





A　　B　　C　　D

●解析

［答案］ D

［分析］

由速度图象的斜率，可知加速度的大小和方向，再根据牛顿第二定律，可得场强的大小和方向，从而确定电场的电场线分布情况和电荷的运动情况.

由速度图象可知，该电荷仅在电场力作用下，做加速度逐渐增大的变减速直线运动，根据牛顿第二定律，有 $qE=ma$，因此场强逐渐增大. 点电荷是正电荷，电场力的方向与场强方向一致，则点电荷运动的物理情景只能是选项 D 描述的情景.

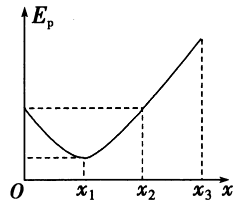
［小结］

1. 关于静电场的图象问题大致可分为两类，一类是根据物理情景选择图象的问题，另一类是根据图象还原物理情景的问题，两类问题是互逆的，总要涉及到图象.
2. 关于静电场的图象五花八门，解决关于静电场的图象问题，要正确认识图象的斜率，面积，横、纵截距的物理意义，标量(功、能、电势与电势差等)的大小与矢量(场强、力等)的方向，标量与矢量的叠加等一系列细节问题.

●解析

3. 场强是矢量，图象中的正负表示场强的方向. 根据 $U=E\cdot x$，可知 $E-x$ 图象的面积表示电势差（由电势差进一步可以判断电势的高低）. 根据 $\Delta\varphi=-U=-E\cdot x$，可知 $\varphi-x$ 图象的斜率表示 $-E$. 根据 $\Delta E_p=-W=-F_x\cdot x$，可知 E_p-x 图象斜率表示电场力 $-F_x$.

【例 2】(2016·陕西省西安中学)一带负电的粒子只在电场力作用下沿 x 轴正方向运动，其电势能 E_p 随位移 x 变化的关系如图所示，其中 $0\sim x_2$ 段是关于直线 $x=x_1$ 对称的曲线，$x_2\sim x_3$ 段是直线，则下列说法正确的是 （　　）



A. x_1 处电场强度最小，但不为零

B. 粒子在 $0\sim x_2$ 段做匀变速运动，$x_2\sim x_3$ 段做匀速直线运动

C. 在 0、x_1、x_2、x_3 处电势 φ_0、φ_1、φ_2、φ_3 的关系为 $\varphi_3>\varphi_2=\varphi_0=\varphi_1$

D. $x_2\sim x_3$ 段的电场强度大小方向均不变

●解析

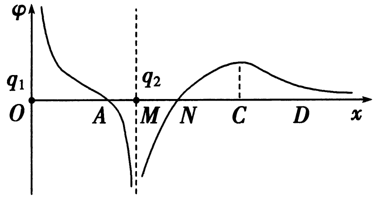
［答案］ D

［分析］

E_p-x 图象的斜率表示粒子所受 $-F_电$，进一步根据 $F=qE$ 可知各点场强的方向和大小，以及加速度的变化情况. 至于电势的高度，依据结论“负电荷逆着电场线方向移动电势能降低，沿着电场线方向移动电势能升高”可判断.

随着 x 的增大，图象分作三段，第一段内电势能减小，电场力做正功，由于粒子带负电，因此电势差小于零，逆着电场线方向运动，后两段顺着电场线方向运动. 图象斜率的绝对值表示电场力的大小，进一步反应了场强大小的变化，可见 x_1 处场强为零，选项 A 错误；$x_2\sim x_3$ 段场强为匀强电场，选项 D 正确. 粒子在前两段，电场力是变化的，做非匀变速直线运动，在第三段斜率是定值，做匀变速直线运动，选项 B 错误. “负电荷逆着电场线方向移动电势能降低，沿着电场线方向移动电势能升高”，根据这个结论，可知四点电势关系为 $\varphi_1>\varphi_2=\varphi_0>\varphi_3$，选项 C 错误.

【例 3】(2016·江西省南昌市第三中学模拟)两电荷量分别为 q_1 和 q_2 的点电荷放在 x 轴上的 O、M 两点,两电荷连线上各点电势 φ 随 x 变化的关系如图所示,其中 A、N 两点的电势均为零,ND 段中的 C 点电势最高,则 ( )



A. N 点的电场强度大小为零

B. q_1 小于 q_2

C. NC 间场强方向向 x 轴正方向

D. 将负点电荷从 N 点移到 D 点,电场力先做正功后做负功

●解析

[答案] D

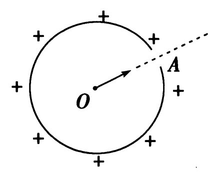
[分析]

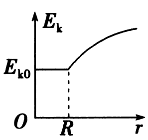
$\varphi-x$ 图象的斜率等于电场强度的负值($-E$),场强是矢量,负号表示方向.场源电荷为正,周围的电势为正,场源电荷为负,周围的电势为负,若空间存在多个场源电荷,电势的正负是电势的代数和.

$\varphi-x$ 图象的斜率等于电场强度的负值$-E$,选项 C 错误.图线在 N 点处的斜率不等于 0,则知 N 点的场强不为零,选项 A 错误.C 点切线的斜率为零,故 C 点的场强为零,由于零电势点位置在 OM 中点右侧,可知 q_1 大于 q_2,选项 B 错误.N 至 D 段中,电势先高升后降低,将一负点电荷从 N 点移到 D 点,电场力先做正功后做负功,选项 D 正确.

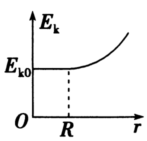
章节练习

1.(2014·高考山东卷)如图,半径为 R 的均匀带正电薄球壳,其上有一小孔 A.已知壳内的场强处处为零;壳外空间的电场,与将球壳上的全部电荷集中于球心 O 时在壳外产生的电场一样.一带正电的试探电荷(不计重力)从球心以初动能 E_{k0} 沿 OA 方向射出.下列关于试探电荷的动能 E_k 与离开球心的距离 r 的关系图线,可能正确的是 ( )

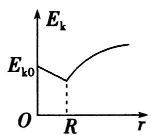




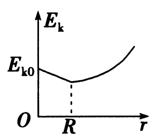
A



B

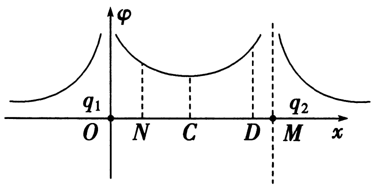


C



D

2.(2017·湖北省宜城市第一中学)两电荷量分别为 q_1 和 q_2 的点电荷固定在 x 轴上的 O、M 两点,两电荷连线上各点电势 φ 随 x 变化的关系如图所示,其中 C 为 ND 段电势最低的点,则下列说法正确的是 (　　)



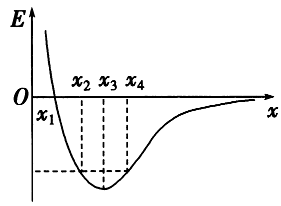
A. q_1、q_2 为等量异种电荷

B. C 点的电场强度大小为零

C. C、D 两点间场强方向沿 x 轴负方向

D. 将一负点电荷从 N 点移到 D 点,电场力先做负功后做正功

3.(2014·高考上海卷)静电场在 x 轴上的场强 E 随 x 的变化关系如图所示,x 轴正方向为场强正方向,带正电的点电荷沿 x 轴运动,则点电荷 (　　)



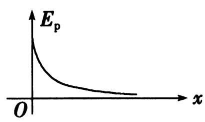
A. 在 x_2 和 x_4 处电势能相等

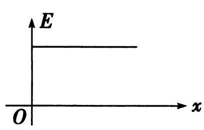
B. 由 x_1 运动到 x_3 的过程中电势能增大

C. 由 x_1 运动到 x_4 的过程中电场力先增大后减小

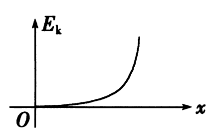
D. 由 x_1 运动到 x_4 的过程中电场力先减小后增大

4.(2014·高考安徽卷)一带电粒子在电场中仅受静电力作用,做初速度为零的直线运动.取该直线为 x 轴,起始点 O 为坐标原点,其电势能 E_p 与位移 x 的关系如图所示.下列图象中合理的是 (　　)

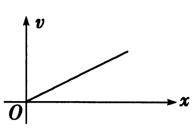




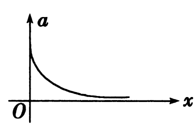
A. 电场强度与位移关系



B. 粒子动能与位移关系



C. 粒子速度与位移关系



D. 粒子加速度与位移关系

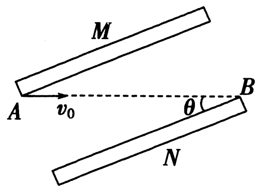
第六讲 带电粒子在电场中的运动

内容导读

带电粒子在电场中的运动，根据运动形式的不同，可分为匀速直线运动、匀变速直线运动、类平抛运动和圆周运动. 本讲通过具体示例讲授各类问题的一般解题策略.

典例剖析

【例 1】(2016·福建福州期末)如图所示，倾斜放置的平行板电容器两极板与水平面夹角为 θ，极板间距为 d，带负电的微粒质量为 m、带电荷量为 q，从极板 M 的左边缘 A 处以初速度 v_0 水平射入，沿直线运动并从极板 N 的右边缘 B 处射出，则 ( )



A. 微粒到达 B 点时动能为 $\frac{1}{2}mv_0^2$

B. 微粒的加速度大小等于 $g\sin\theta$

C. 两极板的电势差 $U=\frac{mgd}{q\cos\theta}$

D. 微粒从 A 点到 B 点的过程电势能减少 $\frac{mgd}{\cos\theta}$

● 解析

[答案] C

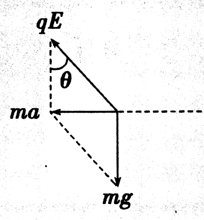
[分析]

经受力分析，微粒做匀减速直线运动；但高度不变，机械能的变化仅是动能的减少；动能的减少等于电势能的增加，总能量守恒.

由题分析可知，微粒做匀减速直线运动，动能减小，选项 A 错误；如图所示，由题分析可知，$\tan\theta=\frac{ma}{mg}$，得 $a=g\tan\theta$，选项 B 错误；由上可知微粒的电势能增加

●解析

$\Delta E_p = ma\dfrac{d}{\sin\theta}$，又 $\Delta E_p = qU$，得到两极板的电势差 $U=\dfrac{mgd}{q\cos\theta}$，选项 C 正确；微粒从 A 点到 B 点的过程中电势能增加了 $\dfrac{mgd}{\cos\theta}$，选项 D 错误.

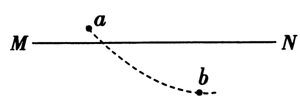


[小结]

带电粒子在电场中的运动问题，可以根据运动形式分为五类：匀速直线运动、匀变速直线运动、类平抛运动、圆周运动和一般曲线运动. 无论哪一种运动，除仅受电场力外，电场力是粒子所受力中的一员.

1. 粒子做匀速直线运动，电场力与其他力的合力为零.
2. 粒子做匀变速直线运动，电场力与其他力的合力为恒力.
3. 粒子做类平抛运动，电场力与其他力的合力也为恒力，合力与初速度方向垂直.
4. 粒子做圆周运动时又可分为匀速圆周运动，合力大小不变且时刻指向圆心，做匀速圆周运动；匀强电场力与重力的合力为恒力，就是等效重力场问题，粒子做变速圆周运动，有等效最高点和最低点的问题.
5. 粒子做一般曲线运动，通常用动能定理解决问题. 电场力做功可以用 $W=qU$ 讨论；也可以用电场力与速度之间的夹角讨论，锐角做正功，直角不做功，钝角做负功，合力指向曲线的凹面一侧，速度沿着轨迹的切线，而电场力沿着电场线的切线（正电荷）或切线的反方向（负电荷）.

【例 2】(2017·广东省湛江一中四校联考)如图所示，MN 是一正点电荷产生的电场中的一条电场线. 一个带负电的粒子（不计重力）从 a 到 b 穿越这条电场线的轨迹如图中虚线所示. 下列结论正确的是 （　　）



A. 点电荷一定位于 M 点的左侧

B. 带电粒子从 a 到 b 的过程中动能逐渐减小

C. 带电粒子在 a 点的加速度小于在 b 点的加速度

D. 带电粒子在 a 点时的电势能大于在 b 点时的电势能

● 解析

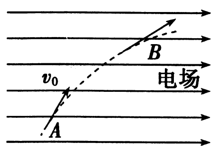
［答案］ CD

［分析］

首先根据曲线运动判断粒子所受电场力的方向应向右，从而确定场源电荷在 N 一侧；其次根据力与速度的夹角断定动能增加，电势能减小；加速度的大小看距离场源电荷的远近，近大远小.

粒子做曲线运动，电场力应指向 N 一侧，场源电荷为正，粒子为负，因此场源电荷在 N 一侧，选项 A 错误. 曲线上任一点的速度方向与电场力之间的夹角为锐角，因此做正功，根据动能定理，动能应增加，选项 B 错误. 靠近场源电荷，场强越大，加速度越大，选项 C 正确. 粒子从 a 到 b，根据“负电荷逆着电场线电势能降低”，选项 D 正确.

【例 3】(2015 · 高考全国卷Ⅱ)如图，一质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$ 的粒子在匀强电场中运动，A、B 为其运动轨迹上的两点. 已知该粒子在 A 点的速度大小为 v_0，方向与电场方向的夹角为 60°；它运动到 B 点时速度方向与电场方向的夹角为 30°. 不计重力. 求 A、B 两点间的电势差.



● 解析

［答案］ $\dfrac{mv_0^2}{q}$

［分析］

突破本题的关键是在垂直于电场线方向，A、B 两点的速度分量相等.

带电粒子在垂直于电场线方向不受力的作用，因此速度分量相等：

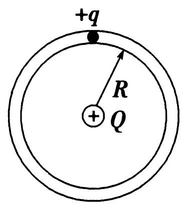
$v_0\sin 60° = v\sin 30°$

解得：$v=\sqrt{3}v_0$

根据动能定理有：$qU=\dfrac{1}{2}mv^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2$

将 B 点的速度 v 代入该式解得 A、B 两点间的电势差：$U=\dfrac{mv_0^2}{q}$.

【例 4】(2016·江苏震川高级中学)如图所示,竖直平面内有一圆形光滑绝缘细管,细管截面半径远小于半径 R,在中心处固定一电荷量为 $+Q$ 的点电荷.一质量为 m、电荷量为 $+q$ 的带电小球在圆形绝缘细管中做圆周运动,当小球运动到最高点时恰好对细管无作用力,求当小球运动到最低点时对管壁的作用力是多大?



●解析

[**答案**] $6mg$

[**分析**]

场源电荷 $+Q$ 位于圆心处,因此试探电荷 $+q$ 在等势面上移动,电场力沿着半径方向,且不做功.

设小球在最高点时的速度为 v_1,根据牛顿第二定律得:$mg-\frac{kQq}{R^2}=m\frac{v_1^2}{R}$ ①

设小球在最低点时的速度为 v_2,管壁对小球的作用力为 F,根据牛顿第二定律有:

$$F-mg-\frac{kQq}{R^2}=m\frac{v_2^2}{R} \quad ②$$

小球从最高点运动到最低点的过程中只有重力做功,故机械能守恒,则:

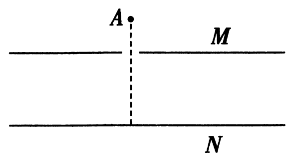
$$\frac{1}{2}mv_1^2+mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv_2^2 \quad ③$$

由①②③式得:$F=6mg$

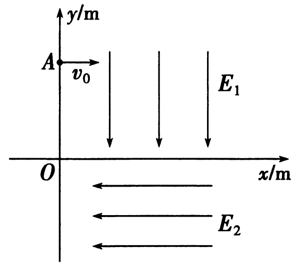
由牛顿第三定律得小球对管壁的作用力:$F'=6mg$.

章节练习

1.(2016·南安三中高三检测)如图所示,M、N是组成电容器的两块水平放置的平行金属极板,M中间有一小孔.M、N分别接到电压恒定的电源两端(未画出).小孔正上方有一点A,A与极板N的距离为h,与极板M距离为$\frac{1}{3}h$,某时刻有一带电微粒从A点由静止下落,到达极板N时速度刚好为零.若将极板N向上平移$\frac{2}{9}h$,该微粒再从A点由静止下落,求进入电场后速度为零的位置与极板M间的距离.



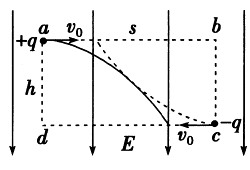
2.(2016·华南师大附中测试)如图所示,y 轴在竖直方向,x 轴在水平方向,一质量为 m、带电荷量为 q 的小球在坐标为(0,0.3 m)的 A 点以初速度 v_0 平行于 x 轴正方向射入第一象限,在第一象限内存在沿 y 轴负方向的匀强电场 E_1,在第四象限内存在沿 x 轴负方向的匀强电场 E_2,其中 $m=0.1\ \text{kg}$,$q=+1.0\times10^{-3}\ \text{C}$,$v_0=2\ \text{m/s}$,$E_1=1.0\times10^3\ \text{N/C}$,$E_2=\sqrt{3}\times10^3\ \text{N/C}$,$g$ 取 $10\ \text{m/s}^2$,求:



(1)小球到达 x 轴上的速度;

(2)小球回到 y 轴时的坐标.

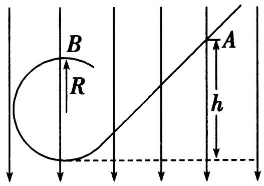
3.(2014·高考山东卷)如图,场强大小为 E、方向竖直向下的匀强电场中有一矩形区域 $abcd$,水平边 ab 长为 s,竖直边 ad 长为 h.质量均为 m、带电量分别为 $+q$ 和 $-q$ 的两粒子,由 a、c 两点先后沿 ab 和 cd 方向以速率 v_0 进入矩形区(两粒子不同时出现在电场中).不计重力.若两粒子轨迹恰好相切,则 v_0 等于 (　　)



A. $\frac{s}{2}\sqrt{\frac{2qE}{mh}}$　　B. $\frac{s}{2}\sqrt{\frac{qE}{mh}}$

C. $\frac{s}{4}\sqrt{\frac{2qE}{mh}}$　　D. $\frac{s}{4}\sqrt{\frac{qE}{mh}}$

4.(2018·黄冈一中八校联考)如图所示,一个带正电荷 q、质量为 m 的小球,从光滑绝缘斜面轨道的 A 点由静止下滑,然后沿切线进入竖直面上半径为 R 的光滑绝缘圆形轨道,恰能到达轨道的最高点 B.现在空间加一竖直向下的匀强电场,若仍从 A 点由静止释放该小球(假设小球的电量 q 在运动过程中保持不变,不计空气阻力),则 ( )



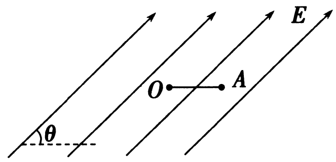
A. 小球一定不能到达 B 点

B. 小球仍恰好能到达 B 点

C. 小球一定能到达 B 点,且在 B 点对轨道有向上的压力

D. 小球能否到达 B 点与所加的电场强度的大小有关

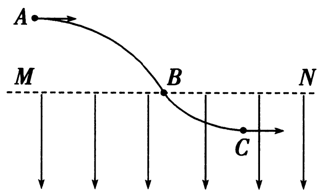
5.(2016·河北沧州 9 月质检)如图所示,在匀强电场中,电场线与水平方向成 θ 角,一电荷量为 q、质量为 m 的带电小球,用长为 l 的绝缘细线悬挂于 O 点,当小球静止时,细线恰好呈水平状态,现给小球一垂直于细线的初速度使小球恰在竖直面内做圆周运动,重力加速度为 g.求:



(1)匀强电场的电场强度的大小;

(2)细线对小球的最大拉力.

6.(2016·山东潍坊高三统考)如图所示,水平面 MN 的下方存在竖直向下的匀强电场,一带电小球由 MN 上方的 A 点以一定初速度水平抛出,从 B 点进入电场,到达 C 点时速度方向恰好水平,由此可知 ( )



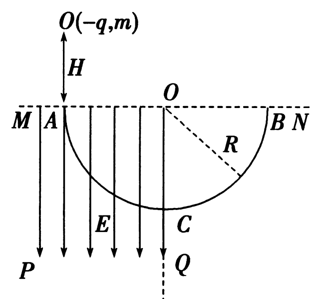
A. 从 B 到 C,小球的动能减小

B. 从 B 到 C,小球的电势能减小

C. 从 A 到 B 与从 B 到 C 小球的运动时间一定相等

D. 从 A 到 B 与从 B 到 C 小球的速度变化量大小一定相等

7.(2016·河南洛阳一中模拟)如图所示,$MPQO$ 为有界的竖直向下的匀强电场(边界上有电场),电场强度为 $E=\frac{mg}{q}$,ACB 为光滑固定的半圆形轨道,轨道半径为 R,A、B 为圆水平直径的两个端点,AC 为$\frac{1}{4}$圆弧,一个质量为 m,电荷量为 $-q$ 的带电小球,从 A 点正上方高为 $H=R$ 处由静止释放,并从 A 点沿切线进入半圆轨道,不计空气阻力及一切能量损失,关于带电小球的受力及运动情况,下列说法正确的是 ( )



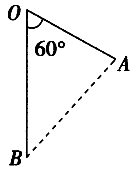
A. 小球到达 C 点时对轨道压力为 $2mg$

B. 小球在 AC 部分运动时,加速度不变

C. 适当增大 E,小球到达 C 点的速度可能为零

D. 若 $E=\frac{2mg}{q}$,要使小球沿轨道运动到 C,则应将 H 至少调整为$\frac{3R}{2}$

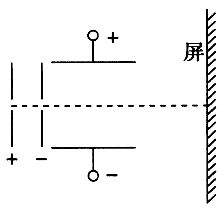
8.(2014·高考全国卷Ⅰ)如图,O、A、B为同一竖直平面内的三个点,OB沿竖直方向,$\angle BOA=60°$,$OB=\frac{3}{2}OA$,将一质量为m的小球以一定的初动能自O点水平向右抛出,小球在运动过程中恰好通过A点.使此小球带电,电荷量为$q(q>0)$,同时加一匀强电场,场强方向与$\triangle OAB$所在平面平行.现从O点以同样的初动能沿某一方向抛出此带电小球,该小球通过了A点,到达A点时的动能是初动能的3倍;若该小球从O点以同样的初动能沿另一方向抛出,恰好通过B点,且到达B点时的动能为初动能的6倍,重力加速度大小为g.求:



(1)无电场时,小球到达A点时的动能与初动能的比值;

(2)电场强度的大小和方向.

9.(2015·高考天津卷)如图所示,氕核、氘核、氚核三种粒子从同一位置无初速地飘入电场线水平向右的加速电场E_1,之后进入电场线竖直向下的匀强电场E_2发生偏转,最后打在屏上.整个装置处于真空中,不计粒子重力及其相互作用,那么 ( )



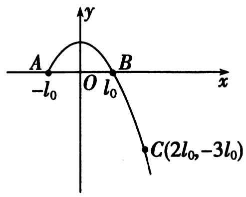
A.偏转电场E_2对三种粒子做功一样多

B.三种粒子打到屏上时的速度一样大

C.三种粒子运动到屏上所用时间相同

D.三种粒子一定打到屏上的同一位置

10.(2015·高考安徽卷)在 xOy 平面内,有沿 y 轴负方向的匀强电场,场强大小为 E(图中未画出),由 A 点斜射出质量为 m、带电荷量为 $+q$ 的粒子,B 和 C 是粒子运动轨迹上的两点,如图所示,其中 l_0 为常数.粒子所受重力忽略不计.求:



(1)粒子从 A 到 C 过程中电场力对它做的功;

(2)粒子从 A 到 C 过程所经历的时间;

(3)粒子经过 C 点时的速率.

选修 3-1　恒定电流

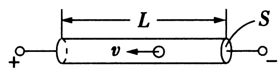
第七讲　部分电路的基本规律

内容导读

本讲包含的内容主要有：电流的定义和微观解释，欧姆定律与电阻的伏安特性曲线，电阻定律，电功和电热，串联电路和并联电路. 这些内容也代表了近五年高考的考查方向.

典例剖析

【例 1】(2015·高考安徽卷)一根长为 L、横截面积为 S 的金属棒，其材料的电阻率为 ρ，棒内单位体积自由电子数为 n，电子的质量为 m、电荷量为 e. 在棒两端加上恒定的电压时，棒内产生电流，自由电子定向运动的平均速率为 v，如图所示，则金属棒内的电场强度大小为　(　　)



A. $\frac{mv^2}{2eL}$　　B. $\frac{mv^2Sn}{e}$　　C. ρnev　　D. $\frac{\rho ev}{SL}$

●解析

[答案]　C

[分析]

该例考查电流的微观解释.

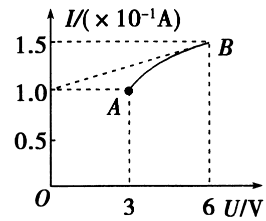
由电流定义可知：$I=\frac{q}{t}=\frac{nvtSe}{t}=neSv$，由欧姆定律可得：$U=IR=neSv\cdot\rho\frac{L}{S}=\rho neLv$，又 $E=\frac{U}{L}$，故 $E=\rho nev$，选项 C 正确.

[小结]

1. 电流的定义式：$I=\frac{q}{t}$. 对于电解液，其中 q 为正负离子总电量之和；t 是时间，因此这样计算所得电流为平均电流.

2. 电流的微观解释：$I=neSv$，其中 n 是电荷数密度，e 是元电荷电量，S 是导线的横截面积，v 是定向移动的速度.

【例 2】(2016·湖北七市联考)某一导体的伏安特性曲线如图 AB 段(曲线)所示,关于导体的电阻,以下说法正确的是 (　　)



A. B 点的电阻为 12 Ω

B. B 点的电阻为 40 Ω

C. 导体的电阻因温度的影响改变了 1 Ω

D. 导体的电阻因温度的影响改变了 9 Ω

●解析

［答案］ B

［分析］

当伏安特性曲线是曲线而非直线时,曲线上任一点的斜率不是电阻的倒数,而该点的横纵坐标的比值恰是电阻.

A 点电阻 $R_A=\frac{3}{1.0\times10^{-1}}\ \Omega=30\ \Omega$,$B$ 点电阻 $R_B=\frac{6}{1.5\times10^{-1}}\ \Omega=40\ \Omega$,因此选项 A 错误、B 正确. $\Delta R=R_B-R_A=10\ \Omega$,故 C、D 错误.

［小结］

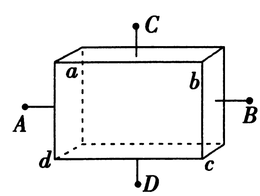
1. 欧姆定律:$I=\frac{U}{R}$(电流与电压成正比). 仅适用于金属和电解液导电,对半导体和气体导电不成立;电压 U 是因,电流 I 是果.

2. 伏安特性曲线:电压是横坐标,电流是纵坐标. 图线上任一点横坐标与纵坐标的比值等于电阻;图线斜率的倒数不等于电阻.

(1)对于金属和电解液,当温度不变时,电阻不变,其伏安特性曲线是正比例函数直线;当温度变化时,电阻发生变化,因此图线成为曲线.

(2)对于气体和半导体,当温度不变时,电阻是变化的,其伏安特性曲线是曲线.

【例 3】(2016·沈阳质检)如图所示,厚薄均匀的矩形金属薄片边长为 $ab=10$ cm,$bc=5$ cm,当将 C 与 D 接入电压恒为 U 的电路时,电流强度为 2 A,若将 A 与 B 接入电压恒为 U 的电路中,则电流为 (　　)



A. 0.5 A　　B. 1 A　　C. 2 A　　D. 4 A

● 解析

[答案] A

[分析]

长方体电阻从不同方向均匀流过电流，电阻率虽然相同，但电阻不同.

设金属薄片厚度为 H，根据电阻定律公式 $R=\rho\dfrac{L}{S}$，有 $R_{CD}=\rho\dfrac{bc}{ab\cdot H}$，$R_{AB}=\rho\dfrac{ab}{bc\cdot H}$，因此$\dfrac{R_{CD}}{R_{AB}}=\dfrac{1}{2}\times\dfrac{1}{2}=\dfrac{1}{4}$；根据欧姆定律，电压相同时，电流与电阻成反比，因此两次电流之比为 4∶1，第二次电流为 0.5 A，选项 A 正确.

[小结]

1. 电阻定律：$R=\rho\dfrac{l}{S}$. 其中 ρ 是电阻率，表示材料对电流的阻碍作用，据此将材料依次分为超导、纯金属、合金、半导体、电介质(俗称绝缘体)；l 是导体的长度；S 是导体的横截面积.
2. 对于一块长方体电阻，电阻因通电方向的不同而不同. 滑动变阻器就是通过调节长度达到调节电阻的目的的.

【例 4】(2016 · 怀化二模)有一个直流电动机，把它接入 0.2 V 电压的电路时，电动机不转，此时测得流过电动机的电流是 0.4 A；若把电动机接入 2.0 V 电压的电路中，电动机正常工作，工作电流是 1.0 A. 求：

(1)电动机线圈的电阻；

(2)电动机正常工作时的输出功率；

(3)在发动机正常工作时，转子突然被卡住，此时电动机的发热功率.

● 解析

[答案] (1)0.5 Ω (2)1.5 W (3)8 W

[分析]

遇到电路问题，一定要注意区分是纯电阻电路和非纯电阻电路，分情况选择公式进行计算.

(1)电动机不转时，电动机电路为纯电阻电路，根据欧姆定律可得线圈的电阻 $R=\dfrac{U}{I}=0.5\ \Omega$；

●解析

(2)电动机正常工作时的输入功率 $P_{输入}=UI=2\times1\ \text{W}=2\ \text{W}$,此时线圈的发热功率为 $P_{热}=I^2R=0.5\ \text{W}$,电动机的输出功率 $P_{输出}=P_{输入}-P_{热}=2\ \text{W}-0.5\ \text{W}=1.5\ \text{W}$;

(3)当转子被卡住之后,电动机为纯电阻电路,电动机的发热功率 $P_{热}=\dfrac{U^2}{R}=\dfrac{2^2}{0.5}\ \text{W}=8\ \text{W}$.

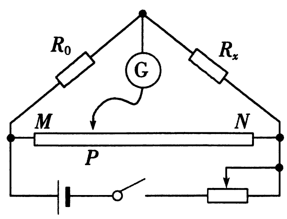
[小结]

1.纯电阻电路和非纯电阻电路:纯电阻电路电功等于电热,电功率等于热功率;非纯电阻电路(电路中有电动机和电解槽)电功大于电热,电功率大于热功率.

2.对于非纯电阻电路,电压 $U_{总}=U_{出}+U_{热}$,其中 $U_{出}$ 是转化为其他形式的能量所对应的电压,$U_{热}$ 是转化为电热的部分.

3.对于非纯电阻电路,用 $P=\dfrac{U^2}{R}$ 计算功率,其中的三个物理量是对应统一的,即电压只能是 $U_{热}$,功率只能是 $P_{热}$,即只能用于热功率;切不可把电压代成 $U_{总}$ 或 $U_{出}$.

【例 5】(2013·高考安徽卷)用图示的电路可以测量电阻的阻值.图中 R_x 是待测电阻,R_0 是定值电阻,G 是灵敏度很高的电流表,MN 是一段均匀的电阻丝.闭合开关,改变滑动头 P 的位置,当通过电流表 G 的电流为零时,测得 $MP=l_1$,$PN=l_2$,则 R_x 的阻值为 ( )



A. $\dfrac{l_1}{l_2}R_0$　　B. $\dfrac{l_1}{l_1+l_2}R_0$

C. $\dfrac{l_2}{l_1}R_0$　　D. $\dfrac{l_2}{l_1+l_2}R_0$

●解析

[答案] C

[分析]

该例电流表构成惠斯通电桥,电流表电流为零时,称为电桥平衡.

●解析

当灵敏电流表的电流为零时，电流表两端的电势相等．电阻 R_0 和 R_x 串联的总电压等于电阻丝 MN 两端的总电压．再根据串联分压原理，可得电阻 R_0 和 MP 段电阻丝的电压相等，电阻 R_x 和 PN 段电阻丝的电压相等，有 $\frac{R_0}{R_x}=\frac{l_1}{l_2}$，可得 $R_x=\frac{l_2}{l_1}R_0$．

[小结]

1．串联电路的特点

(1)电流关系：电流处处相等；

(2)电压关系：总电压等于各电阻两端电压之和；

(3)电阻关系：总电阻等于各电阻之和；

(4)分压原理：电压分配与电阻成正比；

(5)功率关系：功率分配与电阻成正比．

2．并联电路的特点

(1)电压关系：各支路两端电压相等；

(2)电流关系：总电流等于各支路电流之和；

(3)电阻关系：总电阻的倒数等于各支路电阻倒数之和；

①并联总电阻总小于任一分电阻；

②并联总电阻随任一分电阻的增大而增大，减小而减小．

(4)分流原理：电流分配与电阻成反比；

(5)功率关系：功率分配与电阻成反比．

章节练习

1．(2016·益阳调研)一根粗细均匀的金属导线，在其两端加上电压 U 时，通过导线的电流为 I，导线中自由电子定向移动的平均速率为 v，若将导线均匀拉长，使它的横截面半径变为原来的 $\frac{1}{2}$，再给它两端加上电压 $2U$，则　　(　　)

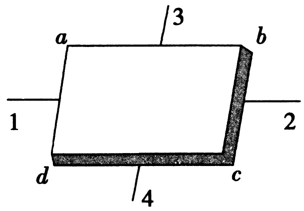
A. 通过导线的电流为$\frac{I}{8}$

B. 通过导线的电流为$\frac{I}{16}$

C. 导线中自由电子定向移动的速率为$\frac{v}{4}$

D. 导线中自由电子定向移动的速率为$\frac{v}{2}$

2.(2016·莆田期末)如图所示均匀的长薄片合金电阻板 $abcd$,ab 边长为 L_1,ad 边长为 L_2,当端点 1、2 或 3、4 接入电路中时,$R_{12}:R_{34}$为　　(　　)

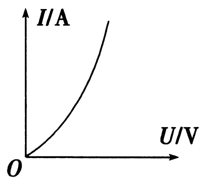


A. $L_1:L_2$　　B. $L_2:L_1$

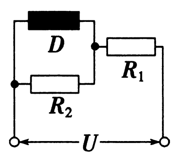
C. 1:1　　D. $L_1^2:L_2^2$

3.(2016·福州检测)一个用半导体材料制成的电阻器 D,其电流 I 随它两端电压 U 变化的关系图象如图甲所示,若将它与两个标准电阻 R_1、R_2 并联后接在电压恒为 U 的电源两端,3 个用电器消耗的电功率均为 P,现将它们连接成如图乙所示的电路,接在该电源的两端,设电阻器 D 和电阻 R_1、R_2 消耗的电功率分别是 P_D、P_1、P_2,它们之间的关系为

(　　)



甲

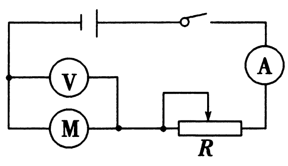


乙

A. $P_1=\frac{4}{9}P$　　B. $P_D=\frac{P}{4}$

C. $P_D=P_2$　　D. $P_1<4P_2$

4.(2016·哈尔滨模拟)在研究微型电动机的性能时,可采用如图所示的实验电路. 当调节滑动变阻器 R,使电动机停止转动时,电流表和电压表的示数分别为 1.0 A 和 1.0 V;重新调节 R,使电动机恢复正常运转时,电流表和电压表的示数分别为 2.0 A 和 15.0 V. 则当这台电动机正常运转时　　(　　)



A. 电动机的内阻为 7.5 Ω　　B. 电动机的内阻为 2.0 Ω

C. 电动机的输出功率为 30.0 W　　D. 电动机的输出功率为 26.0 W

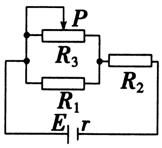
第八讲 闭合电路欧姆定律

内容导读

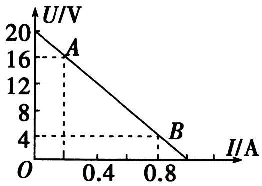
关于闭合电路的欧姆定律的考查重点，主要有四个方面：(1)考查 $U-I$ 图象；(2)闭合电路功率分配规律；(3)闭合电路的动态讨论；(4)含容电路问题；(5)电压增量与电流增量问题；(6)电路故障的判断.

典例剖析

【例 1】(2016·济南外国语测试)如图甲所示的电路中，R_1、R_2 均为定值电阻，且 $R_1=100\ \Omega$，R_2 阻值未知，R_3 为一滑动变阻器. 当其滑片 P 从左端滑至右端时，测得电源的路端电压随电源中流过的电流变化图线如图乙所示，其中 A、B 两点是滑片 P 在变阻器的两个不同端点得到的. 求：



甲



乙

(1)电源的电动势和内阻；

(2)定值电阻 R_2 的阻值；

(3)滑动变阻器的最大阻值.

● 解析

[答案] (1)20 V 20 Ω (2)5 Ω (3)300 Ω

[分析]

关于闭合电路的欧姆定律的问题中，$U-I$ 图线的纵截距表示电动势，横截距表示短路电流.

(1)题图乙中 AB 延长线，交 U 轴于 20 V 处，交 I 轴于 1.0 A 处，

所以电源的电动势为 $E=20$ V，内阻 $r=\dfrac{E}{I_{短}}=20\ \Omega$.

●解析

(2)当 P 滑到 R_3 的右端时,电路参数对应图乙中的 B 点,即 $U_2=4\ \text{V}$、$I_2=0.8\ \text{A}$,

得 $R_2=\dfrac{U_2}{I_2}=5\ \Omega$.

(3)当 P 滑到 R_3 的左端时,由图乙知此时 $U_{外}=16\ \text{V}$,

$I_{总}=0.2\ \text{A}$,

所以 $R_{外}=\dfrac{U_{外}}{I_{总}}=80\ \Omega$

因为 $R_{外}=\dfrac{R_1R_3}{R_1+R_3}+R_2$,

所以滑动变阻器的最大阻值为:$R_3=300\ \Omega$.

[小结]

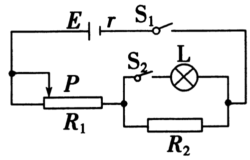
1.闭合电路的欧姆定律:$I=\dfrac{E}{r+R}$.揭示了干路电流随外电阻变化的物理规律;仅适用于纯电阻电路.

2.电源的 $U-I$ 图象:由闭合电路的欧姆定律可得路端电压与干路电流的关系 $U=-rI+E$,图象为一次函数直线,斜率为 $-r$,横截距的物理意义表示短路,纵截距的物理意义表示断路.

(1)$U=-rI+E$,对非纯电阻电路也成立.

(2)电源的 $U-I$ 图象与电阻的 $U-I$ 图象的交点,表示一定的电源与电阻所构成的闭合电路,路端电压和干路电流的对应数值.

【例 2】(2016·东营联考)已知电源内阻 $r=2\ \Omega$,灯泡电阻 $R_L=2\ \Omega$,$R_2=2\ \Omega$,滑动变阻器 R_1 的最大阻值为 $3\ \Omega$,如图所示,将滑片 P 置于最左端,闭合开关 S_1、S_2,电源的输出功率为 P_0,则 ( )



A.滑片 P 向右滑动,电源输出功率一直减小

B.滑片 P 向右滑动,电源输出功率一直增大

C.断开 S_2,电源输出功率达到最大值

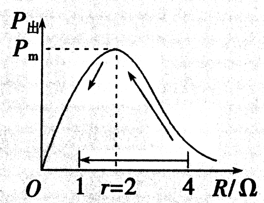
D.滑片 P 置于最右端时,电源输出功率仍为 P_0

解析

[答案] D

[分析]

电源输出功率随外电阻的增大先增后减，最大值为 $P_{外max}=\frac{E^2}{4r}$.



闭合开关 S_1、S_2，外电路总电阻 $R=R_1+R_并=R_1+1\ \Omega$，当 $R=r=2\ \Omega$ 时，电源输出功率最大，根据电源输出功率与外电路电阻的关系图象(如图所示)可知，滑片从最左端向右滑动，外电路总电阻从 4 Ω 减小到 1 Ω，电源输出功率先增大再减小，选项 A、B 错误；滑片在最左端，断开 S_2，外电路总电阻 $R=R_1+R_2=5\ \Omega\neq r$，电源的输出功率不是最大，选项 C 错误. 当滑片在最左端时，$R=R_1+R_并=4\ \Omega$，电流 $I=\frac{E}{R+r}=\frac{E}{6}$(A)，电源的输出功率为 P_0，则 $P_0=I^2R=\frac{E^2}{9}$(W)；当滑片在最右端时，$R'=R_并=1\ \Omega$，电流 $I'=\frac{E}{R'+r}=\frac{E}{3}$(A)，电源的输出功率为 $P'=I'^2R'=\frac{E^2}{9}(W)=P_0$，选项 D 正确.

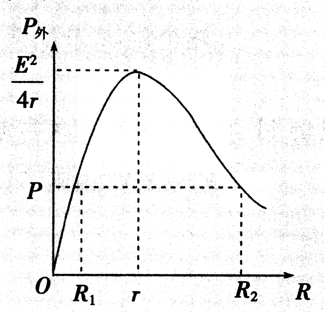
[小结]

闭合电路中各种功率随外电阻 R 的变化规律：

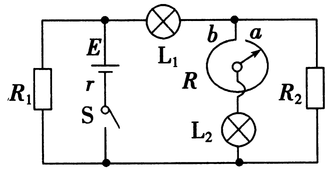
(1)电源的总功率：$P_总=\frac{E^2}{r+R}$(随 R 的增大而减小)；

(2)电源消耗的功率：$P_内=\left(\frac{E}{r+R}\right)^2r$(随 R 的增大而减小)；

(3)输出功率(外电阻消耗的功率)：$P_外=\left(\frac{E}{R+r}\right)^2R=\frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R}+4r}$(随 R 的增大先增后减)；当 $R=r$ 时，输出功率最大，最大值为 $P_{外max}=\frac{E^2}{4r}$，如图所示.



【例 3】(2016·石家庄调研)如图为某控制电路,由电动势为 E、内阻为 r 的电源与定值电阻 R_1、R_2 及电位器(滑动变阻器)R 连接而成,L_1、L_2 是两个指示灯.当电位器的触片由 b 端滑向 a 端时,下列说法正确的是 (　　)



A. L_1、L_2 都变亮　　B. L_1、L_2 都变暗

C. L_1 变亮,L_2 变暗　　D. L_1 变暗,L_2 变亮

●解析

[答案]　B

[分析]

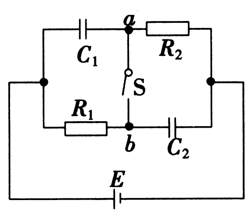
该例属于闭合电路的动态讨论问题,用"串反并同"的规律解决.

当电位器的触片由 b 端滑向 a 端时,电阻逐渐变大,电路的总电阻变大,路端电压变大,总电流减小,则 R_1 上电流变大,L_1 上电流减小,R_2 以及电位器和 L_2 两端的电压之和变大,通过 R_2 的电流变大,通过 L_2 的电流减小,则 L_1、L_2 都变暗,选项 B 正确.

[小结]

1. 闭合电路的动态讨论问题:分析思路为"分总分".牵一发而动全身,局部电阻的变化引起整个电路电阻的变化,根据闭合电路的欧姆定律,干路电流随之发生变化,各支路电流也随之发生变化.
2. 题型规律:串反并同.即与变化的电阻串联的支路和干路电流,随电阻的增大而减小;与之并联的支路电流,随电阻的增大而增大.

【例 4】(2016·东北三校二模)如图所示,$C_1=6\ \mu F$,$C_2=3\ \mu F$,$R_1=3\ \Omega$,$R_2=6\ \Omega$,电源电动势 $E=18\ V$,内阻不计.下列说法正确的是 (　　)



A. 开关 S 断开时，a、b 两点电势相等

B. 开关 S 闭合后，a、b 两点间的电流是 2 A

C. 开关 S 断开时 C_1 带的电荷量比开关 S 闭合后 C_1 带的电荷量大

D. 不论开关 S 断开还是闭合，C_1 带的电荷量总比 C_2 带的电荷量大

● 解析

［**答案**］ BC

［**分析**］

该例属于含容电路问题，随着电路发生结构性的变化，电容器要充电和放电，电量的变化，要等电路电流稳定后再计算.

S 断开时外电路处于断路状态，两电阻中无电流通过，电阻两端电势相等，由图知 a 点电势与电源负极电势相等，而 b 点电势与电源正极电势相等，选项 A 错误. S 断开时两电容器两端电压都等于电源电动势，而 $C_1>C_2$，由 $Q=CU$ 知此时 $Q_1>Q_2$，当 S 闭合时，稳定状态下 C_1 与 R_1 并联，C_2 与 R_2 并联，电路中电流 $I=\dfrac{E}{R_1+R_2}=2\text{ A}$，此时两电阻两端电压分别为 $U_1=IR_1=6\text{ V}$、$U_2=IR_2=12\text{ V}$，则此时两电容器所带电荷量分别为 $Q_1'=C_1U_1=3.6\times10^{-5}\text{ C}$、$Q_2'=C_2U_2=3.6\times10^{-5}\text{ C}$，对电容器 C_1 来说，S 闭合后其两端电压减小，所带电荷量也减小，选项 B、C 正确，D 错误.

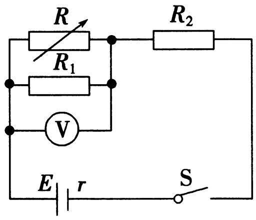
［**小结**］

含容电路问题解题注意事项：

(1) 计算电容器充电和放电的多少，要在充电和放电结束，即其他电路电流稳定后，电容器所在支路电流为零时才能进行计算.

(2) 无论电容器所在支路串联着多少电阻，由于充放电结束后，电阻电压为零，因此电容器两端的电压等于它所在支路两端的电压.

【例 5】(2016 · 南昌一模) 如图所示电路中，R_1、R_2 为定值电阻，电源的内电阻为 r. 闭合开关 S，电压表显示有读数，调节可变电阻 R 的阻值，电压表示数增大量为 ΔU. 对此过程，下列判断正确的是 (　　)



A. 可变电阻 R 阻值增大,流过它的电流增大

B. 电阻 R_2 两端的电压减小,减小量小于 ΔU

C. 通过电阻 R_2 的电流减小,减小量等于$\frac{\Delta U}{R_2}$

D. 路端电压一定增大,增大量小于 ΔU

●解析

[**答案**] BD

[**分析**]

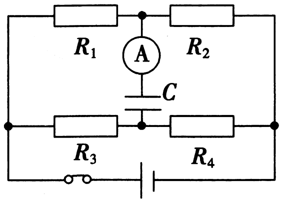
解决电流和电压的增量问题,首先要弄清增量的含义,其次根据串联分压和并联分流原理解决.

调节可变电阻 R 的阻值,电压表示数增大量为 ΔU. 可变电阻 R 阻值增大,流过它的电流减小,选项 A 错误. 电阻 R_2 两端的电压减小,电源内阻电压减小,二者减小量之和等于 ΔU,所以电阻 R_2 两端的电压的减小量小于 ΔU,选项 B 正确. 通过电阻 R_2 的电流减小,减小量小于$\frac{\Delta U}{R_2}$,选项 C 错误. 路端电压一定增大,增大量小于 ΔU,选项 D 正确.

[**小结**]

1. 并联电流增量的关系:干路增加(减小)的电流,等于各支路增加(减小)的电流之和减去减小(增加)的电流之和.
2. 串联电压增量的关系:在串联电路中,某部分两端总电压的增加(减小)量,等于各电阻两端电压增加(减小)量之和减去减小(增加)量之和. 电路路端电压的变化量等于电源内压的变化量.

【例 6】(2016·**江西大学附中期末**)如图所示电路中,电阻 $R_1:R_2:R_3:R_4=1:2:3:4$,C 为电容器,A 为电流表,当电路中某个电阻断路瞬间,发现有自上而下的电流通过电流表 A,则断路的电阻可能是 (　　)



A. R_1　　B. R_2

C. R_3　　D. R_4

●解析

[**答案**] BC

[**分析**]

该例属于判断电路故障的问题,重点考查推理能力、分析与综合能力.

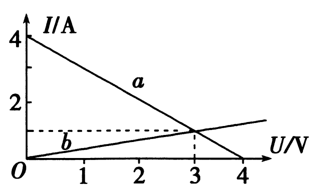
设路端电压为 U,则根据欧姆定律可得 $U_{R1}=\frac{1}{3}U$,$U_{R2}=\frac{2}{3}U$,$U_{R3}=\frac{3}{7}U$,$U_{R4}=\frac{4}{7}U$,设电源负极的电势为零,则电容器上极板的电势 $\varphi_{上}=\frac{2}{3}U$,下极板的电势为 $\varphi_{下}=\frac{4}{7}U$,上极板电势大于下极板电势,有自上而下的电流通过电流表,说明电容器两端电压变大,所以可能为电阻 R_2 变大或者电阻 R_3 变大,选项 B、C 正确.

[**小结**]

用电压表判断电路故障:把电压表并联在电路某两点之间,如果没有示数,则两点之间短路,或两点以外断路;如果有示数,则两点之间断路;如果示数约为电源电动势,则干路断路.

章节练习

1.(2016·汕头联考)如图所示,a、b 分别表示一个电池组和一只电阻的伏安特性曲线.以下说法正确的是　　(　　)



A. 电池组的内阻是 1 Ω

B. 电阻的阻值为 0.33 Ω

C. 将该电阻接在该电池组两端,电池组的输出功率将是 4 W

D. 改变外电阻的阻值时,该电池组的最大输出功率为 4 W

2.(2016·衡水一模)现有甲、乙、丙三个电源,电动势 E 相同,内阻不同,分别为 $r_{甲}$,$r_{乙}$,$r_{丙}$.用这三个电源分别给定值电阻 R 供电,已知 $R=r_{甲}>r_{乙}>r_{丙}$,则将 R 先后接在这三个电源上的情况相比较,下列说法正确的是 (　　)

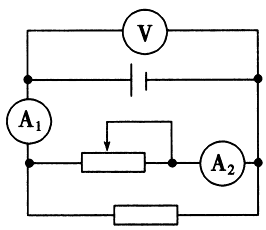
A. 接在甲电源上时,电源内阻消耗的功率最大

B. 接在甲电源上时,定值电阻 R 两端的电压最大

C. 接在乙电源上时,电源的输出功率最大

D. 接在丙电源上时,电源的输出功率最大

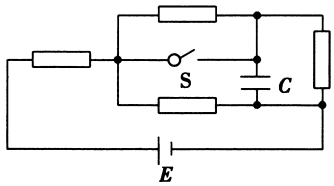
3.(2016·襄阳联考)如图所示,电源内阻不可忽略,当滑动变阻器的滑动片向右滑动时,下列说法中正确的是 (　　)



A. 电流表 A_1 读数变小　　B. 电流表 A_2 读数变大

C. 电压表 V 读数变大　　D. 电压表 V 读数不变

4.(2016·高考全国卷Ⅱ)阻值相等的四个电阻、电容器 C 及电池 E(内阻可忽略)连接成如图所示电路.开关 S 断开且电流稳定时,C 所带的电荷量为 Q_1;闭合开关 S,电流再次稳定后,C 所带的电荷量为 Q_2.Q_1 与 Q_2 的比值为 (　　)



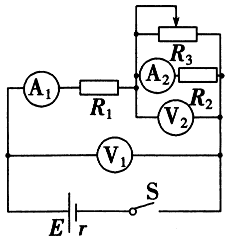
A. $\frac{2}{5}$

B. $\frac{1}{2}$

C. $\frac{3}{5}$

D. $\frac{2}{3}$

5. 如图所示，E 为内阻不能忽略的电池，R_1、R_2 为定值电阻，R_3 是滑动变阻器，图中两个电压表和两个电流表都是理想电表，闭合开关 S，现调节滑动变阻器并记下四个电表的示数变化分别为 ΔU_1、ΔU_2、ΔI_1、ΔI_2，如果用 r 表示电源的内阻，则 (　　)



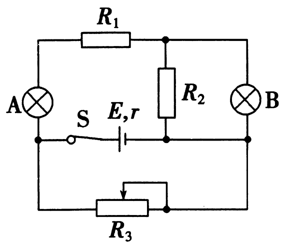
A. $\frac{\Delta U_1}{\Delta I_1}=R_1$

B. $\frac{\Delta U_1}{\Delta I_1}=R_1+\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}$

C. $\frac{\Delta U_2}{\Delta I_2}=R_2$

D. $\frac{\Delta U_2}{\Delta I_2}=r$

6.（2016・西安一中期末）如图所示的电路中，灯泡 A 和灯泡 B 原来都是正常发光的，现在突然灯泡 A 比原来变暗了些，灯泡 B 比原来变亮了些，则电路中出现的故障可能是 (　　)



A. R_3 断路

B. R_2 断路

C. R_1 短路

D. R_1、R_2 同时短路

第九讲 以串、并联为原理的电学实验

内容导读

所有的电学实验，其测量电路部分无非是串联电路和并联电路，实验原理就是串联分压原理和并联分流原理. 电压表的改装依据的是串联分压原理，电流表的改装依据的是并联分流原理；半偏法测电压表的内阻依据的是串联分压原理，半偏法测电流表的内阻依据的是并联分流原理.

典例剖析

【例 1】(2016·安庆三模)要测量某电压表 V_1 的内阻 R_V，其量程为 2 V，内阻约 2 kΩ. 实验室提供的器材有：

电流表 A，量程 0.6 A，内阻约为 0.1 Ω；

电压表 V_2，量程 5 V，内阻约为 5 kΩ；

定值电阻 R_1，阻值为 30 Ω；

定值电阻 R_2，阻值为 3 kΩ；

滑动变阻器 R_3，最大阻值 10 Ω，额定电流 1.5 A；

电源 E，电动势 6 V，内阻约 0.5 Ω；

开关 S 一个，导线若干.

(1)请从上述器材中选择必要的器材，设计一个测量电压表 V_1 内阻 R_V 的实验电路. 要求测量尽量准确，试画出符合要求的实验电路图，并标出所选元件的相应字母代号.

(2)写出电压表 V_1 内阻 R_V 的表达式________________，式中各符号的物理意义是________________________________.

(3)若测得 V_1 内阻 $R_V=1.8$ kΩ，现要将 V_1 改装成一个与 V_2 量程相同的电压表，则需在 V_1 两端________联一个电阻，电阻的阻值应为________.

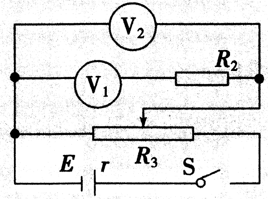
● 解析

[答案] (1)图见解析 (2)$R_V=\dfrac{U_1R_2}{U_2-U_1}$ U_1 表示电压表 V_1 的读数,U_2 表示 V_1 和 R_2 串联的总电压(或电压表 V_2 的读数) (3)串 2.7 kΩ

[分析]

电压表既是仪表,也是电阻.本题电压表 V_1 与电阻 R_2 是串联分压关系,而电压表 V_2 与它们二者又是并联关系.

(1)电路如图所示;

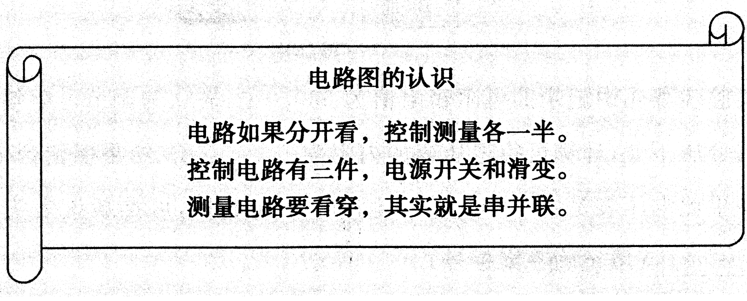


(2)电压表 V_1 内阻 R_V 的表达式为 $R_V=\dfrac{U_1R_2}{U_2-U_1}$,其中 U_1 表示电压表 V_1 的读数,U_2 表示 V_1 和 R_2 串联的总电压;

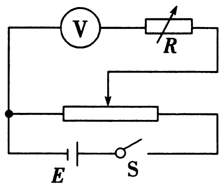
(3)要将 V_1 改装成一个与 V_2 量程相同的电压表,则需在 V_1 两端串联一个电阻,电阻的阻值应为 $R=\dfrac{U_2-U_1}{\dfrac{U_1}{R_V}}=\dfrac{5-2}{\dfrac{2}{1.8}}\ \text{k}\Omega=2.7\ \text{k}\Omega$.

[小结]

电路图的认识:关于电学实验的电路图,要善于分解为两个部分去看待,一部分是控制电路,另一部分是测量电路.控制电路由三大件组成,即电源、开关和滑动变阻器.测量电路虽然千变万化,但是看透了,不就是电路的串、并联嘛.



【例 2】(2016·高考全国卷Ⅱ)某同学利用图(a)所示电路测量量程为 2.5 V 的电压表 V 的内阻(内阻为数千欧姆),可供选择的器材有:电阻箱 R(最大阻值 99 999.9 Ω),滑动变阻器 R_1(最大阻值 50 Ω),滑动变阻器 R_2(最大阻值 5 kΩ),直流电源 E(电动势 3 V),开关 1 个,导线若干.



图(a)

实验步骤如下:

①按电路原理图(a)连接线路;

②将电阻箱阻值调节为 0,将滑动变阻器的滑片移到与图(a)中最左端所对应的位置,闭合开关 S;

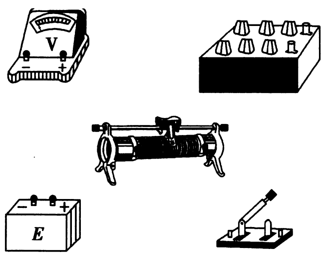
③调节滑动变阻器,使电压表满偏;

④保持滑动变阻器滑片的位置不变,调节电阻箱阻值,使电压表的示数为 2.00 V,记下电阻箱的阻值.

回答下列问题:

(1) 实验中选择滑动变阻器________(填“R_1”或“R_2”).

(2)根据图(a)所示电路将图(b)中实物图连线.



图(b)

(3)实验步骤④中记录的电阻箱阻值为 630.0 Ω,若认为调节电阻箱时滑动变阻器上的分压不变,计算可得电压表的内阻为________Ω(结果保留到个位).

(4)如果此电压表是由一个表头和电阻串联构成的,可推断该表头的满刻度电流为________(填正确答案标号).

A. 100 μA　　B. 250 μA

C. 500 μA　　D. 1 mA

●解析

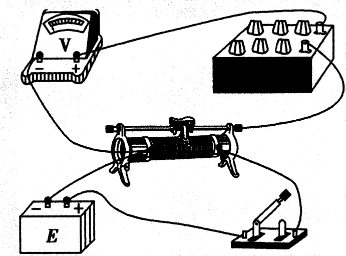
[答案] (1)R_1 (2)如解析图所示 (3)2 520 (4)D

[分析]

该例有实物图的连接,连接时应先把电路分为两部分,即把控制电路和测量电路分别连接,然后并联起来.同时要注意滑动变阻器的接法.

(1)实验原理类比于半偏法测电表内阻,电压表所在支路的总电压应该尽量不变化,即滑动变阻器选最大阻值小的R_1.

(2)如图所示.



(3)近似认为电压表所在电路的总电压不变,且流过电压表与变阻箱的电流不变,

$\frac{2}{R_V}=\frac{2.5-2}{R}$,则 $R_V=4R=2\ 520\ \Omega$.

(4)由欧姆定律可知,$I_{满}=\frac{U_{满}}{R}=\frac{2.5}{2\ 520}\ \text{A}\approx 1\ \text{mA}$.

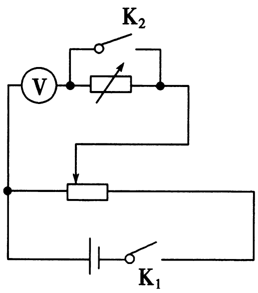
[小结]

电学实物图的连接方法:电学实验实物图的连线,首先要连接控制电路那一个大串联.然后并入测量电路的各个元件,同时要注意电源和电表的正、负极,不能接反.

实物图的连接

电学实物要连线,先连控制一大串。
后并测量各元件,正极负极莫接反。

【例 3】(2016·湖北重点中学联考)如图所示是用半偏法测量电压表内阻的电路图.以下是备用仪器:



A.待测电压表(3 V,内阻 1 500 Ω 左右)

B.电源 E(4 V,2 A,内阻很小)

C.电阻箱(0～999.9 Ω)

D.电阻箱(0～9 999.9 Ω)

E.滑动变阻器(0～20 Ω,3 A)

F.滑动变阻器(0～2 000 Ω,2 A)

G.开关两个,导线若干

(1)为保证测量精度,电阻箱应选________;滑动变阻器应选用________.(填代号)

(2)完善下列实验步骤:

a.闭合开关 K_2 并将滑动变阻器的滑片调至________,然后闭合开关 K_1;

b.调节滑动变阻器使电压表恰好满偏;

c.________,使电压表的指针恰好指在中间刻度(半偏),此时电阻箱的示数为 R.那么,该电压表内阻的测量值为________.测量值和真实值比较数值________(选填"偏大""偏小"或"相等").

●解析

[答案] (1)D E (2)a.最左端 c.断开开关 K_2,调节电阻箱的阻值 R 偏大

[分析]

半偏法的基本思想就是串联分压原理和并联分流原理.

●解析

(1)在半偏法测电阻的实验中，电阻箱的阻值应与待测电压表的阻值基本相等，故电阻箱应选D，而滑动变阻器采用分压式接法，为了调节方便，故滑动变阻器选用较小阻值的E.

(2)在测量数据时，电压要从较小数值开始变化，因而滑动变阻器开始时应在最左端. 由于采用半偏法测量，因而断开开关 K_2，调节电阻箱的阻值，使电压表的指针恰好在中间刻度，即半偏，由串联电路知识可知，电压相等，电流相等，因而电压表的内阻的测量值为 R. 但开关 K_2 断开，电阻增大，分压增大，而电压表示数为原来的一半时，电阻箱分压要略大于一半，故电阻箱的阻值比电压表的内阻要略大.

［小结］

1. 用半偏法测量电压表和电流表的内阻：测量电表内阻用半偏法，测量安培表内阻用并联分流原理，测量伏特表内阻用串联分压原理. 由于电表内阻对电流和电压的影响，致使待分配的电流和电压已经发生了变化，总数值超过满偏电流和满偏电压. 可是，安培表和伏特表依旧按照原来的满偏值分配一半，这很显然是刻舟求剑的做法，系统误差在所难免. 用电阻箱的阻值显示待测电表的内阻. 根据串联分压原理，电压的分配跟电阻成正比，因此伏特表内阻的测量值偏大；根据并联分流原理，电流的分配跟电阻成反比，因此安培表内阻的测量值偏小.

半偏法测电表的内阻

测表内阻用半偏，安培并联伏特串。

电表内阻有影响，致使总数超满偏。

刻舟求剑分一半，系统误差难避免。

分压分流正反比，偏大偏小对伏安。

●解析

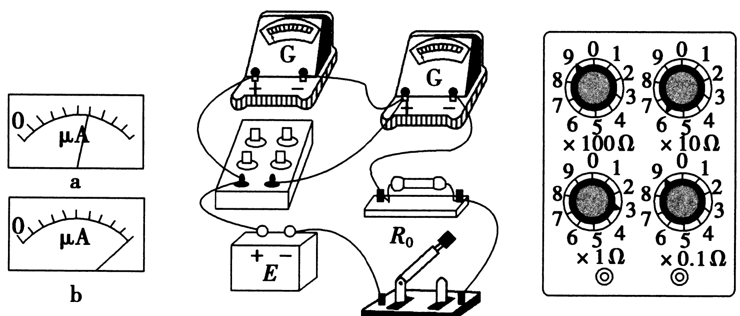
2. 滑动变阻器的两种连接方式：滑动变阻器的两种解法，称作限流式和分压式. 一上一下接线的方式为限流式，一上两下接线的方式是分压式. 限流式功率损耗较小，分压式调节电压和电流的范围较大，两种方式的上限相同，下限不同，分压式的调节电压和电流的下限可以为零. 若要调节的线性好，方便调节，就用待测电阻的粗略阻值去除以滑动变阻器的最大电阻. 所得比值是 1～5，适宜用限流式；比值是 0.1～5，适宜用分压式. 如果两个滑动变阻器对应的这个比值都在这个范围，选倍数大的一个滑动变阻器为最好.

滑动变阻器两种连接方式

滑动变阻两接法，称作限流和分压。一上一下为限流，一上两下是分压。
限流功率损耗小，分压调节范围大。调节若要线性好，待测电阻去除它。
一至五倍宜限流，零点一到五分压。倘若都在此范围，倍数大者为最佳。

章节练习

1.（2016·西工大附中模拟）微安表 G（测小电流的电流表）的内阻一般都在数百欧姆左右. 现在有两个刻度盘上仅有刻度而没标出数值的微安表，将它们串联在同一电路中时，其指针的位置如图甲中 a、b 两图所示. 现欲利用其中的一个测另一个的内阻，除了这两个微安表之外还备有下列器材：电池 E、电阻箱 R、定值电阻 R_0（作保护电阻用）、开关 S 及够用的导线.



甲　　　　乙　　　　丙

某同学已将这些器材连成了如实物图乙所示的电路，接通开关后，发现两个微安表的指针均指在各自表盘的正中央，电阻箱各旋钮的位置如图丙所示，由此可知，他在测微安表________（填“a”或“b”）的内阻，被测微安表的内阻为________Ω（保留三位有效数字）.

2. 某物理兴趣小组要精确测量一只电流表G(量程为1 mA、内阻约为100 Ω)的内阻. 实验室中可供选择的器材有：

电流表 A_1：量程为3 mA，内阻约为200 Ω；

电流表 A_2：量程为0.6 A，内阻约为0.1 Ω；

定值电阻 R_1：阻值为10 Ω；

定值电阻 R_2：阻值为60 Ω；

滑动变阻器 R_3：最大电阻20 Ω，额定电流1.5 A；

直流电源：电动势1.5 V，内阻0.5 Ω；

开关，导线若干.

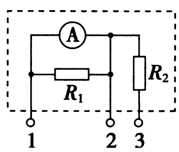
(1)为了精确测量电流表G的内阻，你认为该小组同学应选择的电流表为________、定值电阻为________.(填写器材的符号)

(2)在虚线框中画出所需的实验电路图.

(3)按照所设计的电路进行实验，测得(1)中所选电流表的示数为 I_1，电流表G的示数为 I_2，则电流表G的内阻的表达式为 $r_g=$________.

(4)请列出你所知道的测量电阻的方法：____.(至少写出两种)

3. (2015·高考北京卷)如图所示，其中电流表A的量程为0.6 A，表盘均匀划分为30个小格，每一小格表示0.02 A；R_1 的阻值等于电流表内阻的 $\frac{1}{2}$；R_2 的阻值等于电流表内阻的2倍. 若用电流表A的表盘刻度表示流过接线柱1的电流值，则下列分析正确的是 (　　)

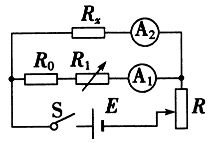


A. 将接线柱1、2接入电路时，每一小格表示0.04 A

B. 将接线柱1、2接入电路时，每一小格表示0.02 A

C. 将接线柱1、3接入电路时，每一小格表示0.06 A

D. 将接线柱1、3接入电路时，每一小格表示0.01 A



4.(2014·高考四川卷)如图是测量阻值约几十欧的未知电阻 R_x 的原理图,图中 R_0 是保护电阻(10 Ω),R_1 是电阻箱(0~99.9 Ω),R 是滑动变阻器,A_1 和 A_2 是电流表,E 是电源(电动势 10 V,内阻很小).

在保证安全和满足要求的情况下,使测量范围尽可能大.实验具体步骤如下:

(ⅰ)连接好电路,将滑动变阻器 R 调到最大;

(ⅱ)闭合 S,从最大值开始调节电阻箱 R_1,先调 R_1 为适当值,再调节滑动变阻器 R,使 A_1 示数 $I_1=0.15$ A,记下此时电阻箱的阻值 R_1 和 A_2 的示数 I_2;

(ⅲ)重复步骤(ⅱ),再测量 6 组 R_1 和 I_2 值;

(ⅳ)将实验测得的 7 组数据在坐标纸上描点.

根据实验回答以下问题:

(1)现有四只供选用的电流表:

A. 电流表(0~3 mA,内阻为 2.0 Ω)

B. 电流表(0~3 mA,内阻未知)

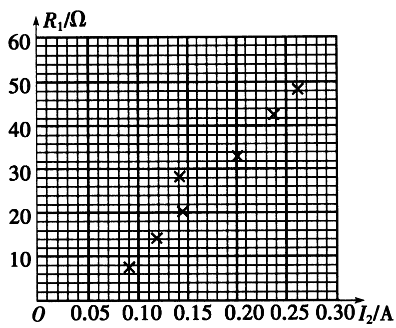
C. 电流表(0~0.3 A,内阻为 5.0 Ω)

D. 电流表(0~0.3 A,内阻未知)

A_1 应选用________,A_2 应选用________.

(2)测得一组 R_1 和 I_2 值后,调整电阻箱 R_1,使其阻值变小,要使 A_1 示数 $I_1=0.15$ A,应让滑动变阻器 R 接入电路的阻值________(选填“不变”“变大”或“变小”).

(3)在坐标纸上画出 R_1 与 I_2 的关系图.



(4)根据以上实验得出 $R_x=$________ Ω.

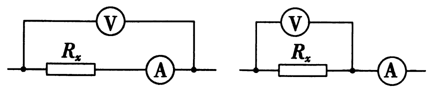
第十讲 以欧姆定律为原理的电学实验

内容导读

以欧姆定律为原理的实验，就是采用伏安法测量电阻的实验. 教材上“描绘小灯泡的伏安特性曲线”“测量金属丝的电阻率”和“测定电源电动势和内电阻”等三个学生实验都采用了伏安法. 其中最后一个实验也可以归属于以闭合电路的欧姆定律为原理的实验.

典例剖析

【例 1】(2014·高考全国卷Ⅱ)在伏安法测电阻的实验中，待测电阻 R_x 约为 200 Ω，电压表 V的内阻约为 2 kΩ，电流表 A 的内阻约为 10 Ω，测量电路中电流表的连接方式如图(a)或图(b)所示，结果由公式 $R_x=\frac{U}{I}$ 计算得出，式中 U 与 I 分别为电压表和电流表的示数. 若将图(a)和图(b)中电路测得的电阻值分别记为 R_{x1} 和 R_{x2}，则________(填“R_{x1}”或“R_{x2}”)更接近待测电阻的真实值，且测量值 R_{x1}________(填“大于”、“等于”或“小于”)真实值，测量值 R_{x2}________(填“大于”、“等于”或“小于”)真实值.



图(a)　　图(b)

解析

[答案] R_{x1}　大于　小于

[分析]

该例直接考查伏安法的两种不同接法的基础知识.

根据题意知 $\frac{R_x}{R_A}>\frac{R_V}{R_x}$，电压表的分流作用较显著，故 R_{x1} 更接近待测电阻的真实值. 图(a)的测量值是 R_x 与 R_A 串联的电阻阻值，故 $R_{x1}>R_{x真}$；图(b)的测量值是 R_x 与 R_V 并联的电阻阻值，故 $R_{x2}<R_{x真}$.

●解析

［小结］

伏安法分为内接法和外接法，在测量电阻时选择哪种接法效果更好呢？用试探法和比较法判断才会知道．不知道待测电阻的粗略阻值时用试探法，即观察两表的示数变化．安培表示数变化显著就选内接法，伏特表示数变化显著就选外接法，只有这样，系统误差才会更小．知道待测电阻的粗略阻值时用比较法，即将待测电阻的粗略阻值跟两表电阻的等比中项做比较．内接法大于等比中项，外接法小于等比中项，其实“内大外小”一箭四雕．另外三雕我仅拿内接法说事：一雕适合测量大电阻，二雕待测电阻远远大于安培表的内阻，三雕测量值大于真实值．

伏安法测电阻

内接外接孰更好？试探比较才知道。不知粗值用试探，示数变化看两表。

安伏显著选内外，系统误差会更小。知道粗值用比较，等比中项做参照。

内接大于外接小，一箭同时射四雕。

【例 2】(2016·湖北武汉外国语期中)某同学要测量一均匀新材料制成的圆柱体的电阻率 ρ.

步骤如下：

(1)用游标为 20 分度的卡尺测量其长度如图 1，由图可知其长度为 $L=$______mm；

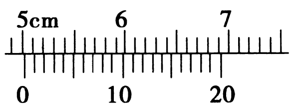


图1

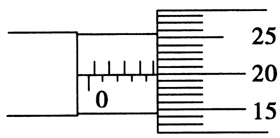


图2

(2)用螺旋测微器测量其直径如图 2，由图可知其直径为 $D=$__________mm；

(3)用多用电表的电阻“×10”挡，按正确的操作步骤测此圆柱体的电阻，表盘的示数如图 3 所示，则该电阻的阻值约为 $R=$__________Ω.

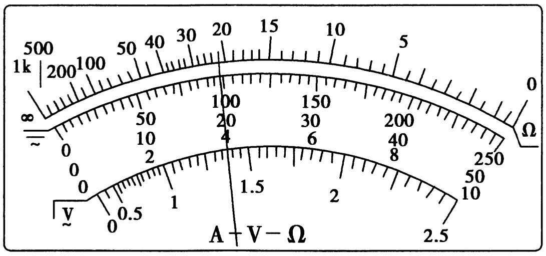


图 3

(4)该同学想用伏安法更精确地测量其电阻 R,现有的器材及其代号和规格如下:

待测圆柱体电阻 R

电流表 A_1(量程 0～4 mA,内阻约 50 Ω);

电流表 A_2(量程 0～10 mA,内阻约 30 Ω);

电压表 V_1(量程 0～3 V,内阻约 10 kΩ);

电压表 V_2(量程 0～15 V,内阻约 25 kΩ);

直流电源 E(电动势 4 V,内阻不计);

滑动变阻器 R_1(阻值范围 0～15 Ω,允许通过的最大电流 2.0 A)

滑动变阻器 R_2(阻值范围 0～2 kΩ,允许通过的最大电流 0.5 A)

开关 S、导线若干

为使实验误差较小,要求测得多组数据进行分析,请在图 4 虚线框中画出测量的电路图,并标明所用器材的代号.



图 4

(5)根据你设计的测量电路,在图 5 中用实线连接好电路.

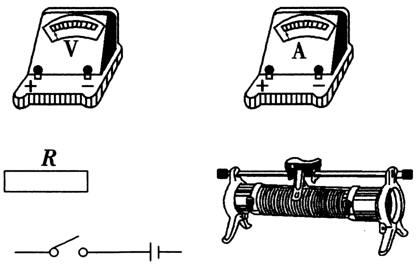


图 5

(6)圆柱体材料的电阻率表达式为 $\rho=$________.(用所测量的字母表达)

●解析

［答案］ (1)50.15 (2)4.698 (3)220 (4)见解析图 (5)略 (6)$\frac{\pi D^2U}{4IL}$

［分析］

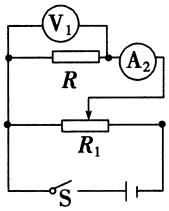
测定电阻丝的电阻率的实验应用了伏安法.该例还考查了两把尺子的读数和电学仪表的读数方法.

(1)游标卡尺的读数为 $L=5\ \text{cm}+3\times\frac{1}{20}\ \text{mm}=5.015\ \text{cm}=50.15\ \text{mm}$.

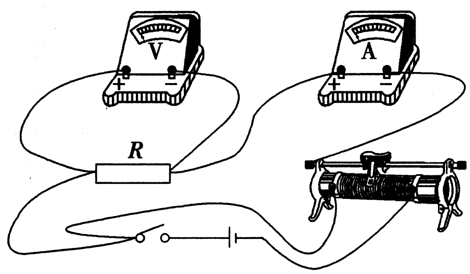
(2)螺旋测微器的读数为 $d=4.5\ \text{mm}+0.01\times19.8\ \text{mm}=4.698\ \text{mm}$.

(3)欧姆表的读数为 $R=22\times10\ \Omega=220\ \Omega$.

(4)电源电动势为 4 V,电压表应选 V_1,电路最大电流约为 $I=\frac{U}{R}=\frac{3}{220}\ \text{A}\approx$ 13.6 mA,电流表应选 A_2,为方便实验操作,滑动变阻器应选 R_1,待测电阻阻值大于滑动变阻器最大阻值,滑动变阻器采用分压接法,电压表内阻远大于待测电阻阻值,电流表采用外接法,实验电路图如图所示.



(5)实物图连接如图所示.



(6)待测电阻阻值 $R=\frac{U}{I}$,电阻 $R=\rho\frac{L}{S}$,则电阻率 $\rho=\frac{\pi D^2U}{4IL}$.

●解析

［**小结**］

1. 测量金属丝的电阻率——外接法分压式.金属丝的电阻都不大,宜采用外接法;电压和电流取值范围越大越好,因此宜采用分压式.
2. 电压表、电流表和欧姆表的读数规则:电表如何读数呢?关键在于末尾数字的读数,说法很多,不一而足.我曾经拜读过一位研究高考问题资深专家的文章,觉得以下读法最为靠谱——无论是什么量程的电压表、电流表、还是欧姆表,都先看表盘的最小刻度.最小刻度若是1,2(1,2或0.1,0.2等均属此类),就采用十分法,即将最小刻度十等分,用估读的数字去乘它,就是末尾的读数;最小刻度是5(5或0.5,0.05等均属此类),采用的是五分法,即将最小刻度五等分,用估读的数字去乘它,就是末尾的读数.

电表读数规则

电表如何读数?说法不一而足。

此法最为靠谱:先看最小刻度。

十分估读一二,五分估读是五。

【例3】(2016·银川质检)某同学为研究小灯泡(最大电压不超过2.5 V,最大电流不超过0.55 A)的伏安特性曲线,在实验室找到了下列实验器材:

A. 电压表(量程是3 V,内阻是6 kΩ)

B. 电压表(量程是15 V,内阻是30 kΩ)

C. 电流表(量程是0.6 A,内阻是0.5 Ω)

D. 电流表(量程是3 A,内阻是0.1 Ω)

E. 滑动变阻器(阻值范围0~100 Ω,额定电流为0.6 A)

F. 滑动变阻器(阻值范围0~5 Ω,额定电流为0.6 A)

G. 直流电源(电动势E=3 V,内阻不计)

H. 开关、导线若干

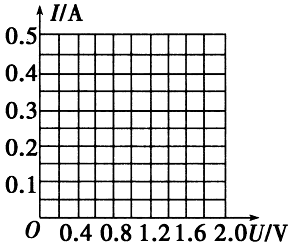
该同学设计电路并进行实验,通过实验得到如下数据(I和U分别表示小灯泡上的电流和电压).

I/A	0	0.12	0.21	0.29	0.34	0.38	0.42	0.45	0.47	0.49	0.50
U/V	0	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00

(1)为了提高实验结果的准确程度,电流表选________;电压表选________;滑动变阻器选________.(以上均填写器材代号)

(2)请在如图所示的虚线框中画出实验电路图.

(3)在如图坐标纸中描出该小灯泡的伏安特性曲线.



(4)据(3)中描出的伏安特性曲线可知,该小灯泡的电阻随温度变化的情况为:________________________________.

●解析

[**答案**] (1)C A F (2)(3)图见解析 (4)小灯泡电阻随温度升高而增大

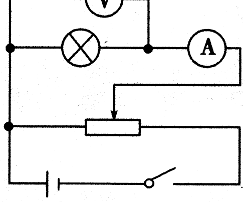
[**分析**]

测定小灯泡的伏安特性曲线的实验应用了伏安法.该例考查了电流表、电压表的选择办法.

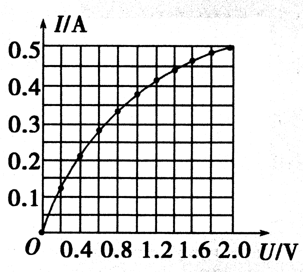
(1)因为小灯泡的最大电流为0.55 A,故电流表选C;小灯泡的电压不超过2.5 V,则电压表选A;滑动变阻器选阻值较小的F.

(2)电路如图甲.

(3)伏安特性曲线如图乙.



甲



乙

(4)小灯泡的电阻随温度变化的情况为:小灯泡电阻随温度升高而增大.

●解析

[小结]

1. 描绘小灯泡的伏安特性曲线——外接法分压式. 由于小灯泡的电阻很小,所以应采用外接法;同时要求描绘小灯泡的伏安特性曲线,电压和电流取值范围尽可能大,滑动变阻器要用分压式. 分压式的电压和电流调节范围都比限流式的大,下限都可以是 0.
2. 安培表和伏特表的选择方法:首先根据电源电动势选择伏特表,其次根据电动势除以待测电阻的粗略阻值这种估算的办法,选择安培表. 选择的原则是让电表的指针偏摆幅度尽可能地大,超过三分之二,至少超过一半,但是绝对不能超过满偏,会烧坏电表.

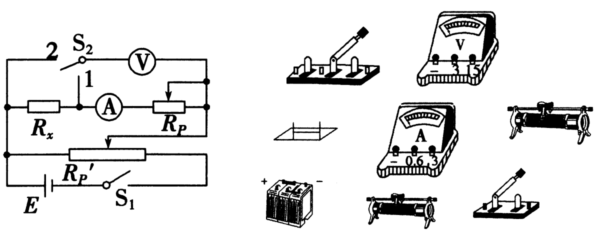
伏特表和安培表的选择

一选伏特看电源,二选安培要估算。

指针偏幅须过半,但是不能超满偏。

章节练习

1.(2016·江淮十校联考)用伏安法测电阻时,由于电压表、电流表内阻的影响,使得测量结果总存在误差,而按图甲所示电路进行测量,则由电压表、电流表内阻所造成的误差可消除.



甲　　　　乙

(1)请你简要写出还未完成的主要操作步骤,并用字母表达出相应的测量值.

①闭合开关 S_1,开关 S_2 接 2,调节 R_P 和 R_P',读出电流表和电压表的示数 I_2、U_2.

②保持 R_P 不变,____.

(2)请你推导出待测电阻 R_x 的表达式________________________.

(3)用实线代表导线,将图乙中的器材按电路图连成测量电路.

2.(2013·高考天津卷)要测绘一个标有“3 V 0.6 W”小灯泡的伏安特性曲线,灯泡两端的电压需要由零逐渐增加到 3 V,并便于操作.已选用的器材有:

电池组(电动势为 4.5 V,内阻约 1 Ω);

电流表(量程为 0～250 mA,内阻约 5 Ω);

电压表(量程为 0～3 V,内阻约 3 kΩ);

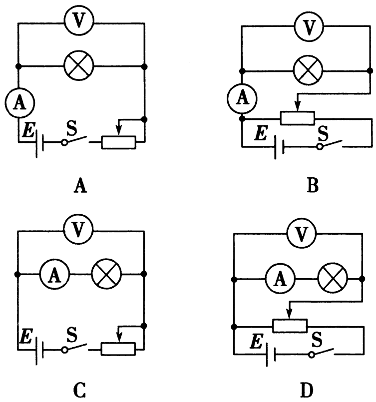
电键一个、导线若干.

(1)实验中所用的滑动变阻器应选下列中的________(填字母代号).

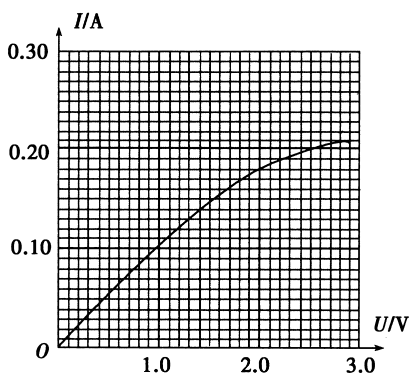
A.滑动变阻器(最大阻值 20 Ω,额定电流 1 A)

B.滑动变阻器(最大阻值 1 750 Ω,额定电流 0.3 A)

(2)实验的电路图应选用下列的图________(填字母代号).



(3)实验得到小灯泡的伏安特性曲线如图所示.如果将这个小灯泡接到电动势为 1.5 V,内阻为 5 Ω 的电源两端,小灯泡消耗的功率是________W.



3.(2014·高考江苏卷)某同学通过实验测量一种合金的电阻率.

(1)用螺旋测微器测量合金丝的直径.为防止读数时测微螺杆发生转动,读数前应先旋紧如图1所示的部件________(选填“A”、“B”、“C”或“D”).从图中的示数可读出合金丝的直径为________mm.

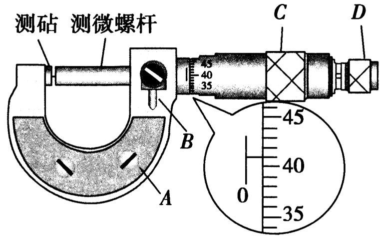


图 1

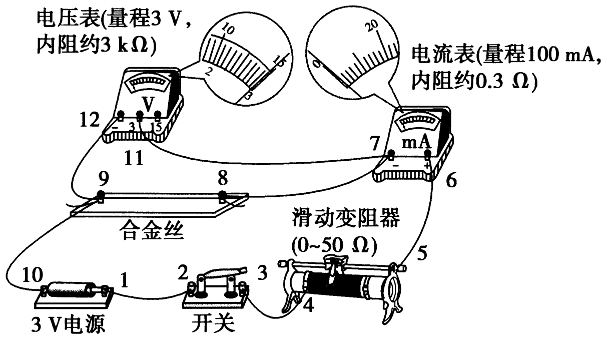


图 2

(2)如图2所示是测量合金丝电阻的电路,相关器材的规格已在图中标出.合上开关,将滑动变阻器的滑片移到最左端的过程中,发现电压表和电流表的指针只在图示位置发生很小的变化.由此可以推断:电路中________(选填图中表示接线柱的数字)之间出现了________(选填“短路”或“断路”).

(3)在电路故障被排除后,调节滑动变阻器,读出电压表和电流表的示数分别为2.23 V和38 mA,由此,该同学算出接入电路部分的合金丝的阻值为58.7 Ω.为了更准确地测出合金丝的阻值,在不更换实验器材的条件下,对实验应作怎样的改进?请写出两条建议.

第十一讲 以闭合电路的欧姆定律为原理的实验

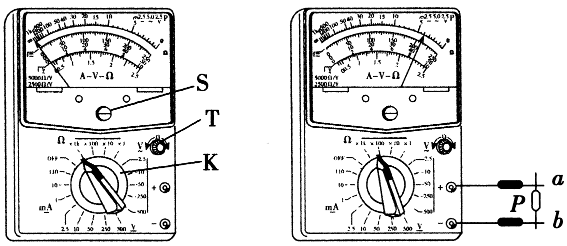
内容导读

以闭合电路的欧姆定律为原理的实验，教材里面主要有两个，一个是欧姆表的工作原理，一个是测定电源的电动势和内电阻.

典例剖析

【例 1】(2016·大连期末)用如图甲所示的多用电表测量电阻，要用到选择开关 K 和两个部件 S、T.

(1)请根据下列步骤完成电阻测量：



甲　　　　乙

①旋动部件________，使指针对准电流的“0”刻度线.

②将 K 旋转到电阻挡“×100”位置.

③将插入“+”“-”插孔的表笔短接，旋动部件________，使指针对准电阻的“0”刻度线.

(2)将调好零的多用电表按正确步骤测量一电学元件 P 的电阻，P 的两端分别为 a、b，指针指示位置如图乙所示. 则通过 P 的电流方向是________(选填“$a\to b$”或“$b\to a$”)，为使测量比较精确，应将选择开关旋到________的倍率挡位上，并需要重新调零，再进行测量.

● 解析

［**答案**］ (1)①S ③T (2)$b\to a$ ×10

［**分析**］

该例考查多用电表的基本使用方法.

(1)①首先要对表盘机械调零,所以旋动部件是S.③欧姆表选挡后要进行欧姆调零,将“＋”“－”插孔的表笔短接,旋动部件T,让表盘指针指在最右端零刻度处.

(2)表盘上的负极接欧姆表内部电源的正极,所以通过P的电流方向是b到a;题图乙中指针偏转角度太大,为了得到比较准确的测量结果,必须使指针指在中间刻度附近,所以要将倍率调小.

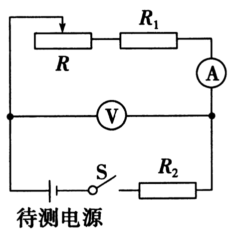
［**小结**］

红表笔插面板上的正插孔,黑表笔插面板上的负插孔;电流从红表笔流进黑表笔流出.表盘刻度数值左边大右边小,左侧密集右边稀疏.中央三分之一区域刻度不密不疏,中庸之道,正好读数.表盘的正中数值,等于欧姆表的内阻示数.使用欧姆表的第一步,是左右调零,左调零是机械调零,右调零是欧姆调零.测量时,如果指针没有指在中央三分之一区域,就必须换挡.换挡必须重新调零,这一步骤容易被疏忽.

欧姆表的使用

红笔插正黑插负,红笔流进黑流出。阻值左大右边小,刻度左密右侧疏。
中央不密也不疏,中庸之道好读数。表盘正中有示数,乃是欧姆之内阻。
调零使用第一步,先调机械后欧姆。指针如不在中部,必由换挡之道路。
换挡必须重调零,此步容易被疏忽。

【例2】(2016·高考四川卷)用如图所示电路测量电源的电动势和内阻.实验器材:待测电源(电动势约3 V,内阻约2 Ω),保护电阻R_1(阻值10 Ω)和R_2(阻值5 Ω),滑动变阻器R,电流表A,电压表V,开关S,导线若干.



实验主要步骤:

(ⅰ)将滑动变阻器接入电路的阻值调到最大,闭合开关;

(ⅱ)逐渐减小滑动变阻器接入电路的阻值,记下电压表的示数U和相应电流表的示数I;

(ⅲ)以 U 为纵坐标,I 为横坐标,作 $U-I$ 图线(U、I 都用国际单位);

(ⅳ)求出 $U-I$ 图线斜率的绝对值 k 和在横轴上的截距 a.

回答下列问题:

(1)电压表最好选用______;电流表最好选用______.

A. 电压表(0~3 V,内阻约 15 kΩ)

B. 电压表(0~3 V,内阻约 3 kΩ)

C. 电流表(0~200 mA,内阻约 2 Ω)

D. 电流表(0~30 mA,内阻约 2 Ω)

(2)滑动变阻器的滑片从左向右滑动,发现电压表示数增大.两导线与滑动变阻器接线柱连接情况是________.

A. 两导线接在滑动变阻器电阻丝两端的接线柱

B. 两导线接在滑动变阻器金属杆两端的接线柱

C. 一条导线接在滑动变阻器金属杆左端接线柱,另一条导线接在电阻丝左端接线柱

D. 一条导线接在滑动变阻器金属杆右端接线柱,另一条导线接在电阻丝右端接线柱

(3)选用 k、a、R_1 和 R_2 表示待测电源的电动势 E 和内阻 r 的表达式 $E=$________,$r=$________,代入数值可得 E 和 r 的测量值.

●解析

[答案] (1)A、C (2)C (3)ka $k-R_2$

[分析]

测定电源电动势和内阻的实验,基本原理是闭合电路的欧姆定律.伏安法用内接法,滑动变阻器用限流式,即内限式,而也只有内限式是误差最小的实验方案.

(1)电压表内阻越大,分得的电流越小,误差也就越小,所以选内阻较大的 A 电压表;当滑动变阻器接入电阻最小时通过电流表电流最大,此时通过电流表电流大小约为 $I=\dfrac{E}{R_1+R_2+r}\approx 176$ mA,所以选量程为 200 mA 的 C 电流表.

(2)由电路分析可知,滑片右移电压表示数变大,意味着滑动变阻器接入电路部分阻值增大,考查选项 B 两导线都接在金属柱两端上,接入电阻为 0 Ω;考查选

●解析

项 A 若两导线都接电阻丝两端，接入电阻为最大阻值，不会变化；考查选项 C 一导线接金属杆左端，一导线接电阻丝左端，则滑片右移时阻值增大，符合题意；考查选项 D 一导线接金属杆右端，一导线接电阻丝右端，则滑片右移阻值减小，不符合题意.

(3)由 $E=U+I(r+R_2)$，得 $U=-I(r+R_2)+E$，对比伏安特性曲线可知，图象斜率绝对值 $k=r+R_2$，所以电源内阻 $r=k-R_2$；令 $U=0$，得 $I=\frac{E}{r+R_2}=\frac{E}{k}$，由题意知与横轴截距为 a，所以 $a=I=\frac{E}{k}$，则 $E=ka$.

[**小结**]

1. 测定电源电动势和内电阻的实验采用内接法限流式. 采用内接法比采用外接法造成的误差更小.
2. 电学实验的复习方略：电学实验虽然像大海一样浩渺，但只要紧紧依据实验原理这个指南，就不会在大海上迷失航向. 依据实验原理把基本实验可以归纳为三类：第一类是以串、并联为原理的实验. 不信请看看有多种量程的多用表，其内部结构不就是串、并联，串联一个大电阻就成了大量程的伏特表，并联一个小电阻就成了大量程的安培表. 电表的改装原理也是这样的，半偏法测量电表的内阻也是运用的串并联. 第二类是以欧姆定律为原理的实验，即伏安法，伏安法包括内接法和外接法. 外接分压式包括两个实验，测量金属丝的电阻率和描绘小灯泡的伏安特性曲线. 测定电源电动势和内阻却恰恰相反，电路接法是内接限流式. 第三类是以闭合电路的欧姆定律为原理的实验，它是欧姆表工作的根本和源头.

电学实验复习方略

电学实验虽浩繁，实验原理是指南。依据原理分三类：第一当数串并联，
不信但看多用表，内脏一目即了然；电表改装亦如斯，更有方法叫半偏。
欧姆定律居第二，内接外接是伏安，外分包括两实验，电阻率与灯曲线；
测定电源恰相反，电路接法用内限。闭合定律排第三，乃是欧姆之本源。

章节练习

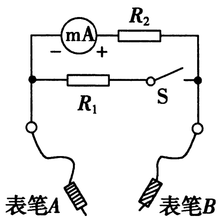
1.(2013·高考全国卷Ⅱ)某同学用量程为 1 mA、内阻为 120 Ω 的表头按图甲所示电路改装成量程分别为 1 V 和 1 A 的多用电表.图中 R_1 和 R_2 为定值电阻,S 为开关.回答下列问题:

(1)根据图甲所示的电路,在图乙所示的实物图上连线.

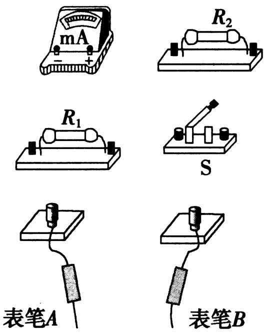
(2)开关 S 闭合时,多用电表用于测量________(填"电流""电压"或"电阻");开关 S 断开时,多用电表用于测量________(填"电流""电压"或"电阻").

(3)表笔 A 应为________色(填"红"或"黑").

(4)定值电阻的阻值 $R_1=$________Ω,$R_2=$________Ω.(结果取 3 位有效数字)



甲



乙

2.(2016·合肥质检)某同学将量程为 200 μA,内阻为 500 Ω 的表头改装成量程为 1 mA 和 10 mA 的双量程电流表,设计电路如图 1 所示.定值电阻 $R_1=500\ \Omega$,$R_2=225\ \Omega$,S 为单刀双掷开关,A、B 为接线柱.回答下列问题:

(1)将开关 S 置于"1"挡时,量程为________mA.

(2)定值电阻的阻值 $R_3=$________Ω.(结果取 3 位有效数字)

(3)利用改装的电流表进行某次测量时,S 置于"2"挡,表头指示如图 2 所示,则所测量电流的值为________mA.

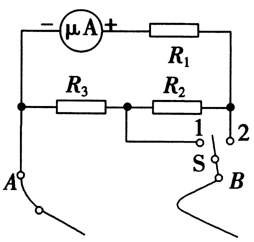


图1

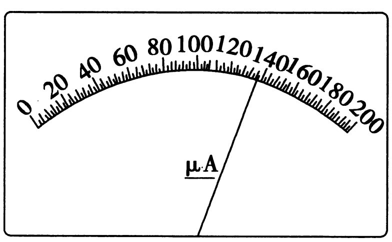
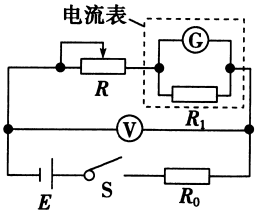


图2

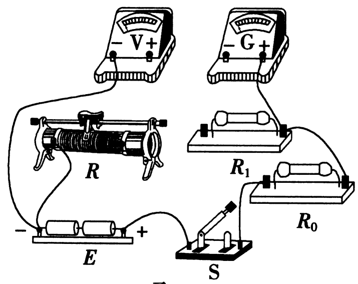
3.(2014·高考福建卷)某研究性学习小组利用伏安法测定某一电池组的电动势和内阻,实验原理如图甲所示,其中,虚线框内为用灵敏电流计 G 改装的电流表 A,V 为标准电压表,E 为待测电池组,S 为开关,R 为滑动变阻器,R_0 是标称值为 4.0 Ω 的定值电阻.

(1)已知灵敏电流计 G 的满偏电流 $I_g=100\ \mu A$、内阻 $r_g=2.0\ k\Omega$,若要改装后的电流表满偏电流为 200 mA,应并联一只________ Ω(保留一位小数)的定值电阻 R_1.

(2)根据图甲,用笔画线代替导线将图乙连接成完整电路.



甲



乙

(3)某次实验的数据如下表所示:

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8
电压表Ⓥ读数 U/V	5.26	5.16	5.04	4.94	4.83	4.71	4.59	4.46
改装表Ⓐ读数 I/mA	20	40	60	80	100	120	140	160

该小组借鉴"研究匀变速直线运动"实验中计算加速度的方法(逐差法),计算出电池组的内阻 $r=$________ Ω(保留两位小数);为减小偶然误差,逐差法在数据处理方面体现出的主要优点是________________.

(4)该小组在前面实验的基础上,为探究图甲电路中各元器件的实际阻值对测量结果的影响,用一已知电动势和内阻的标准电池组,通过上述方法多次测量后发现:电动势的测量值与已知值几乎相同,但内阻的测量值总是偏大.若测量过程无误,则内阻测量值总是偏大的原因是________________.

(填选项前的字母)

A. 电压表内阻的影响

B. 滑动变阻器的最大阻值偏小

C. R_1 的实际阻值比计算值偏小

D. R_0 的实际阻值比标称值偏大

4.(2016·长沙联考)某同学利用如图1甲所示电路测定电源的电动势和内阻.实验中电表内阻对实验结果影响很小,均可以忽略不计.闭合开关S后,变阻器的滑片P由变阻器的一端滑到另一端的过程,两电压表示数随电流表示数变化情况分别如图1乙的$U-I$图象中的直线a、b所示.

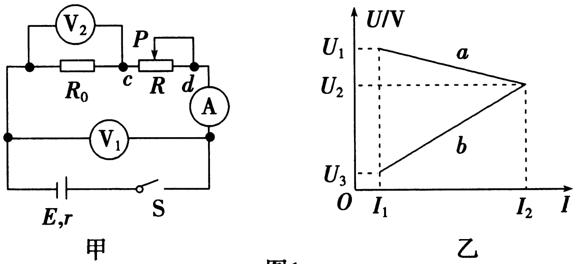


图1

(1)用画线代表导线,将实物图2中各元件按图1甲连接成实验电路.

(2)通过分析可知,其中图1乙中图线________(填a或b)表示电压表V_1示数随电流表A示数变化关系.

(3)根据$U-I$图象中坐标轴所标出的数据,可求出电源的电动势$E=$________,内阻$r=$________.(用图中给出的坐标值表示)

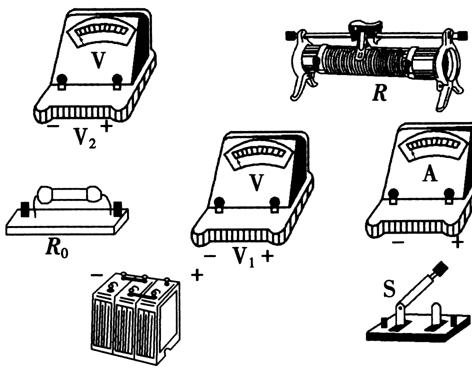


图2

选修 3-1　磁　场

第十二讲　安培力作用下导体棒的平衡

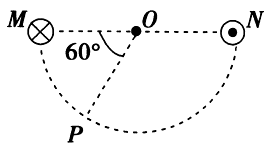
内容导读

本讲主要包括两个方面的内容：其一，电流产生的磁场及其叠加；其二，安培力大小的计算和方向的判断.

典例剖析

【例 1】(2017・江西南昌调研)如图所示，M、N 和 P 是以 MN 为直径的半圆弧上的三点，O 为半圆弧的圆心，$\angle MOP=60°$，在 M、N 处各有一条长直导线垂直穿过纸面，导线中通有大小相等的恒定电流，方向如图所示，这时 O 点的磁感应强度大小为 B_1. 若将 M 处长直导线移至 P 处，则 O 点的磁感应强度大小为 B_2，那么 B_2 与 B_1 之比为

(　　)



A. $\sqrt{3}:1$　　　B. $\sqrt{3}:2$

C. $1:1$　　　D. $1:2$

● 解析

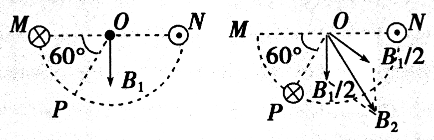
［答案］ B

［分析］

直线电流周围的磁场的磁感应强度方向沿着圆形磁感线的切线方向；磁感应强度是矢量，叠加遵守平行四边形法则.

● 解析

如图甲所示，当通有电流的长直导线在 M、N 两处时，根据安培定则，可知二者在圆心 O 处产生的磁感应强度都为 $B_1/2$；当将 M 处长直导线移到 P 处时，两直导线在圆心 O 处产生的磁感应强度也为 $B_1/2$，做平行四边形，由图乙中的几何关系，可得 $\frac{B_2}{B_1}=\frac{\frac{B_2}{2}}{\frac{B_1}{2}}=\cos 30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}$，选项 B 正确.



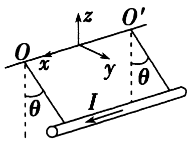
甲　　　　乙

[小结]

1. 磁感应强度是矢量，合成和分解遵守平行四边形法则.

2. 直线电流周围的磁场方向用右手螺旋定则判断.

【例 2】(2016·广东广州三模)如图所示，质量为 m、长度为 L 的直导线用两绝缘细线悬挂于 O、O'，并处于匀强磁场中，当导线中通以沿正方向的电流 I，且导线保持静止时悬线与竖直方向夹角为 θ. 磁感应强度方向和大小可能为　　(　　)



A. z 正向，$\frac{mg}{IL}\tan\theta$　　B. y 正向，$\frac{mg}{IL}$

C. z 负向，$\frac{mg}{IL}\tan\theta$　　D. 沿悬线向上，$\frac{mg}{IL}\sin\theta$

● 解析

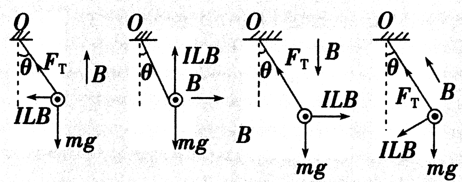
[答案]　BC

[分析]

安培力的方向总与磁感线垂直；导体棒的平衡是有安培力参与的平衡，合力依旧为零. 本题要注意在受力分析时把立体图变成侧视平面图，然后通过平衡状态的受力分析来确定 B 的方向和大小.

● 解析

若 B 沿 z 正向，则从 O 向 O' 看，导线受到的安培力 $F=ILB$，方向水平向左，如图甲所示，导线无法平衡，选项 A 错误. 若 B 沿 y 正向，导线受到的安培力竖直向上，如图乙所示. 当 $F_T=0$，且满足 $ILB=mg$，即 $B=\frac{mg}{IL}$ 时，导线可以平衡，选项 B 正确. 若 B 沿 z 负向，导线受到的安培力水平向右，如图丙所示. 若满足 $F_T\sin\theta=ILB$，$F_T\cos\theta=mg$，即 $B=\frac{mg\tan\theta}{IL}$，导线可以平衡，选项 C 正确. 若 B 沿悬线向上，导线受到的安培力左斜下方向，如图丁所示，导线无法平衡，选项 D 错误.



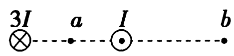
甲　　乙　　丙　　丁

［小结］

1. 安培力：电流所受的磁场力. 安培力 $F_{安}=BIl\sin\theta$，其中 θ 是 I 和 B 的夹角. 当 I 平行于 B 时，安培力最小；当 I 垂直于 B 时，安培力最大.
2. 左手定则：左手定则是判断安培力和洛伦兹力方向的法则. 安培力的方向既垂直于电流，又垂直于磁场方向，两垂直是永远成立的. 当 I 与 B 斜交时，把 B 正交分解，让垂直分量垂直穿入手心.

章节练习

1.（2017·河北廊坊模拟）无限长通电直导线在周围某一点产生的磁场的磁感应强度 B 的大小与电流大小成正比，与导线到这一点的距离成反比，即 $B=\frac{kI}{r}$（式中 k 为常数）. 如图所示，两根相距 L 的无限长直导线分别通有电流 I 和 $3I$. 在两根导线的连线上有 a、b 两点，a 点为两根直导线连线的中点，b 点距电流为 I 的导线的距离为 L. 下列说法正确的是（　　）



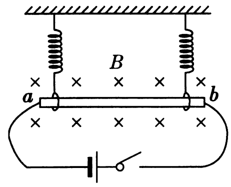
A. a 点和 b 点的磁感应强度方向相同

B. a 点和 b 点的磁感应强度方向相反

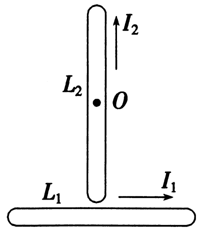
C. a 点和 b 点的磁感应强度大小比为 8∶1

D. a 点和 b 点的磁感应强度大小比为 16∶1

2.(2015·高考全国卷Ⅰ)如图,一长为 10 cm 的金属棒 ab 用两个完全相同的弹簧水平地悬挂在匀强磁场中;磁场的磁感应强度大小为 0.1 T,方向垂直于纸面向里;弹簧上端固定,下端与金属棒绝缘.金属棒通过开关与一电动势为12 V 的电池相连,电路总电阻为2 Ω.已知开关断开时两弹簧的伸长量为 0.5 cm;闭合开关,系统重新平衡后,两弹簧的伸长量与开关断开时相比均改变了0.3 cm.重力加速度大小取 10 m/s^2.判断开关闭合后金属棒所受安培力的方向,并求出金属棒的质量.



3.(2016·泰州模拟)通有电流的导线 L_1、L_2 处在同一平面(纸面)内,L_1 是固定的,L_2 可绕垂直纸面的固定转轴 O 转动(O 为 L_2 的中心),各自的电流方向如图所示.下列哪种情况将会发生 ( )



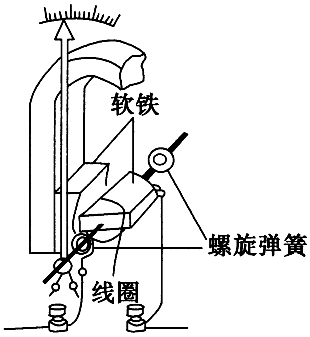
A.因 L_2 不受磁场力的作用,故 L_2 不动

B.因 L_2 上、下两部分所受的磁场力平衡,故 L_2 不动

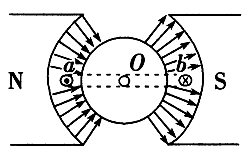
C.L_2 绕轴 O 按顺时针方向转动

D.L_2 绕轴 O 按逆时针方向转动

4.(2016·汕头模拟)如图,甲、乙是磁电式电流表的结构,蹄形磁铁和铁芯间的磁场均匀辐向分布,线圈中 a、b 两条导线长均为 l,通以图示方向的电流 I,两条导线所在处的磁感应强度大小均为 B.则 ( )



电流表的构造
甲



乙

A.该磁场是匀强磁场

B.线圈平面总与磁场方向垂直

C.线圈将逆时针转动

D.a、b 导线受到的安培力大小总为 BIl

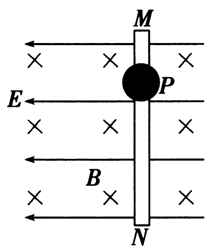
第十三讲　带电粒子在磁场中的运动

内容导读

本讲主要包括两方面的内容：一是带电粒子在众多力作用下运动时关于洛伦兹力的动态讨论；二是带电粒子在有界匀强磁场中的运动规律.

典例剖析

【例 1】(2016·江西八校联考)如图所示，在水平匀强电场和垂直纸面向里的匀强磁场中，有一竖直足够长固定绝缘杆 MN，小球 P 套在杆上，已知 P 的质量为 m、电荷量为 $+q$，电场强度为 E，磁感应强度为 B，P 与杆间的动摩擦因数为 μ，重力加速度为 g. 小球由静止开始下滑直到稳定的过程中　　(　　)



A. 小球的加速度一直减小

B. 小球的机械能和电势能的总和保持不变

C. 下滑加速度为最大加速度一半时的速度可能是 $v=\dfrac{2\mu qE-mg}{2\mu qB}$

D. 下滑加速度为最大加速度一半时的速度可能是 $v=\dfrac{2\mu qE+mg}{2\mu qB}$

● 解析

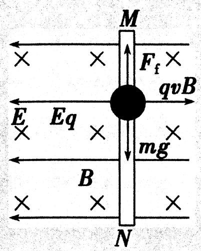
[答案]　CD

[分析]

该例是带电小球在洛伦兹力下的运动问题，洛伦兹力随着速度大小的变化而变化，属于动态讨论问题.

● 解析

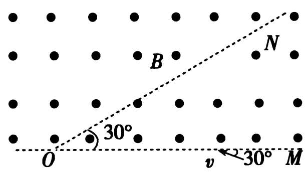
对小球受力分析如图所示，则 $mg-\mu(qE-qvB)=ma$，随着 v 的增加，小球加速度先增大，当 $qE=qvB$ 时达到最大值，$a_{max}=g$，继续运动，$mg-\mu(qvB-qE)=ma$，随着 v 的增大，a 逐渐减小，所以选项 A 错误. 因为有摩擦力做功，机械能与电势能总和在减小，选项 B 错误. 若在前半段达到最大加速度的一半，则 $mg-\mu(qE-qvB)=m\frac{g}{2}$，得 $v=\frac{2\mu qE-mg}{2\mu qB}$；若在后半段达到最大加速度的一半，则 $mg-\mu(qvB-qE)=m\frac{g}{2}$，得 $v=\frac{2\mu qE+mg}{2\mu qB}$，选项 C、D 正确.



[小结]

带电小球在杆约束的情况下，在多场并存的区域内运动，小球的运动虽然是直线运动，但洛伦兹力一般是变化的力，洛伦兹力的大小和方向受小球速度的大小和方向的影响；同时合力也跟着洛伦兹力的变化而变化，从而又影响到小球的速度，总之是相互影响着的，解决此类问题一般要展开讨论.

【例 2】(2016·高考全国卷Ⅲ)平面 OM 和平面 ON 之间的夹角为 30°，其横截面(纸面)如图所示，平面 OM 上方存在匀强磁场，磁感应强度大小为 B，方向垂直于纸面向外. 一带电粒子的质量为 m，电荷量为 $q(q>0)$. 粒子沿纸面以大小为 v 的速度从 OM 的某点向左上方射入磁场，速度与 OM 成 30°角. 已知该粒子在磁场中的运动轨迹与 ON 只有一个交点，并从 OM 上另一点射出磁场. 不计重力. 粒子离开磁场的出射点到两平面交线 O 的距离为 ( )



A. $\frac{mv}{2qB}$　　B. $\frac{\sqrt{3}mv}{qB}$

C. $\frac{2mv}{qB}$　　D. $\frac{4mv}{qB}$

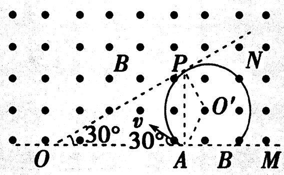
●解析

［答案］ D

［分析］

该例属于带电粒子在直线边界匀强磁场中的运动问题，粒子在磁场中做了匀速圆周运动，轨迹是优弧.

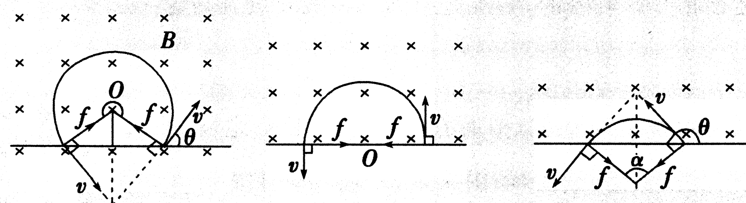
如图所示，粒子在磁场中运动的轨道半径为 $R=\frac{mv}{qB}$. 设入射点为 A，出射点为 B，圆弧与 ON 的切点为 P. 由粒子运动的对称性及粒子的入射方向知，$AB=R$. 由几何图形知，$AP=\sqrt{3}R$，则 $AO=\sqrt{3}AP=3R$，所以 $OB=4R=\frac{4mv}{qB}$. 选项 D 正确.



［小结］

粒子射入直线边界的匀强磁场中

(1)如果射入角度是锐角，轨迹是优弧，圆心在磁场中；如果射入角度是钝角，轨迹是劣弧，圆心在磁场外；如果射入角度是直角，轨迹是半圆，圆心在边界上，如下图所示.

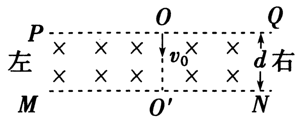


粒子以锐角射入磁场　粒子以直角射入磁场　粒子以钝角射入磁场

(2)无论上述哪一类轨迹，射入速度方向与射出速度方向关于边界对称.（圆的对称性是出现这一规律的必然原因；根据圆的对称性可以很容易地寻找圆心）

(3)无论上述哪一类轨迹，如果射入角度为 θ，粒子在磁场中运动的圆心角总是 $\alpha=2\pi-2\theta$.

【例 3】(2017·湖南长沙模拟)如图所示,一个理想边界为 PQ、MN 的匀强磁场区域,磁场宽度为 d,方向垂直纸面向里.一电子从 O 点沿纸面垂直 PQ 以速度 v_0 进入磁场.若电子在磁场中运动的轨道半径为 $2d$.O'在 MN 上,且 OO'与 MN 垂直.下列判断正确的是 ( )



A. 电子将向右偏转

B. 电子打在 MN 上的点与 O'点的距离为 d

C. 电子打在 MN 上的点与 O'点的距离为$\sqrt{3}d$

D. 电子在磁场中运动的时间为$\frac{\pi d}{3v_0}$

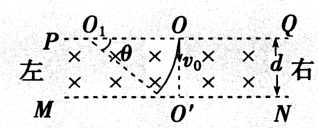
●解析

[答案] D

[分析]

本题属于带电粒子在平行边界匀强磁场中的运动问题.

电子带负电,进入磁场后,根据左手定则判断可知,所受的洛伦兹力方向向左,电子将向左偏转,如图所示,选项 A 错误;设电子打在 MN 上的点与 O'点的距离为 x,则由几何知识得 $x=r-\sqrt{r^2-d^2}=2d-\sqrt{(2d)^2-d^2}=(2-\sqrt{3})d$,选项 B、C 错误;设轨迹对应的圆心角为 θ,由几何知识得:$\sin\theta=\frac{d}{2d}=0.5$,得 $\theta=\frac{\pi}{6}$,则电子在磁场中运动的时间为 $t=\frac{\theta r}{v_0}=\frac{\pi d}{3v_0}$,选项 D 正确.



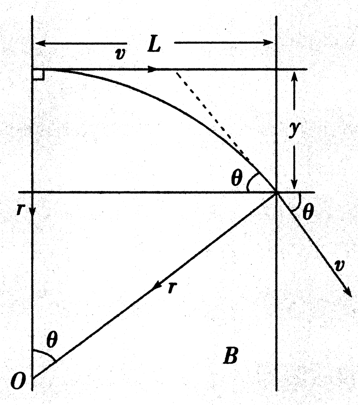
[小结]

粒子垂直射入平行边界的匀强磁场中

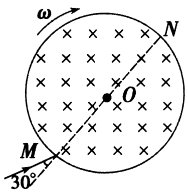
1. 轨道半径 $r=\frac{mv}{qB}$,运动时间 $t=\frac{\theta m}{qB}=\frac{\theta\cdot T}{2\pi}$,侧移距离 $y=r-\sqrt{r^2-L^2}$,偏转角度 $\tan\theta=\frac{L}{\sqrt{r^2-L^2}}$,或者 $\sin\theta=\frac{L}{r}$,偏转角度等于所对的圆心角.如图所示.

●解析

2. 不同比荷的粒子偏转程度不同：表示偏转程度的两个物理量 y 和 $\tan\theta$ 都与轨道半径 r 有关，即与表示粒子的性质$\frac{q}{m}$有关，不同的粒子有着不同程度的偏转。



【例 4】(2016·高考全国卷Ⅱ)一圆筒处于磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中，磁场方向与筒的轴平行，筒的横截面如图所示．图中直径 MN 的两端分别开有小孔，筒绕其中心轴以角速度 ω 顺时针转动．在该截面内，一带电粒子从小孔 M 射入筒内，射入时的运动方向与 MN 成 30°角．当筒转过 90°时，该粒子恰好从小孔 N 飞出圆筒．不计重力．若粒子在筒内未与筒壁发生碰撞，则带电粒子的比荷为 （　　）



A. $\frac{\omega}{3B}$　　B. $\frac{\omega}{2B}$

C. $\frac{\omega}{B}$　　D. $\frac{2\omega}{B}$

●解析

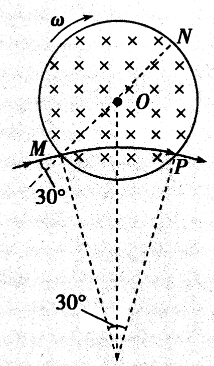
［答案］ A

［分析］

本题属于带电粒子在圆形有界匀强磁场中的运动问题.

如图所示，粒子在磁场中做匀速圆周运动，圆弧$\widehat{MP}$所对应的圆心角由几何知识知为 30°，则$\frac{\pi}{2\omega}=\frac{2\pi m}{qB}\cdot\frac{30°}{360°}$，即$\frac{q}{m}=\frac{\omega}{3B}$，选项 A 正确.

● 解析



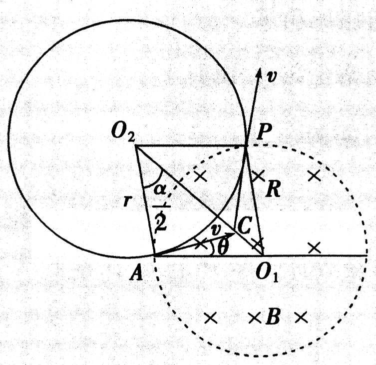
[小结]

一带电粒子质量为 m，电量大小为 q，以初速度 v_0 射入圆形匀强磁场 O_1 中. 已知磁感应强度为 B，初速度与磁场圆半径 R 之间的夹角为 θ，带电粒子在磁场中运动一段圆弧(所对应的圆心角为 α)后从 P 点射出，粒子的轨迹圆圆心为 O_2，半径为 r. 则关于粒子的边角关系有如下二级结论成立：

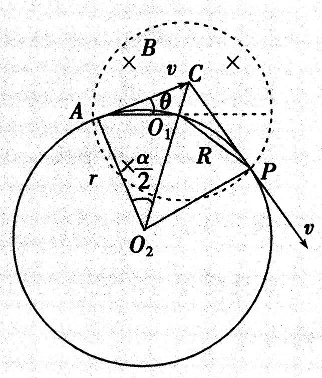
(1)若粒子向上偏转，如图甲所示，二级结论为 $\dfrac{\sin\frac{\alpha}{2}}{R}=\dfrac{\cos(\theta+\frac{\alpha}{2})}{r}$；

(2)若粒子向下偏转，如图乙所示，二级结论为 $\dfrac{\sin\frac{\alpha}{2}}{R}=\dfrac{\cos(\theta-\frac{\alpha}{2})}{r}$；

综合起来就是 $\dfrac{\sin\frac{\alpha}{2}}{R}=\dfrac{\cos(\theta\pm\frac{\alpha}{2})}{r}$.



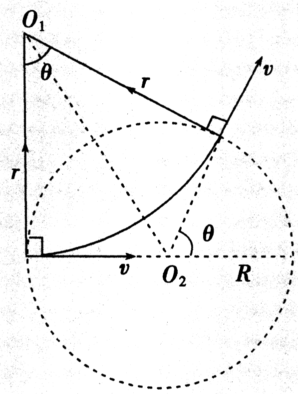
甲



乙

特别地，如果初速度与磁场圆半径 R 之间的夹角为 $\theta=0°$，即沿着半径方向对准圆心射入磁场，上式又可简化为 $\tan\dfrac{\alpha}{2}=\dfrac{R}{r}$. 如图所示.

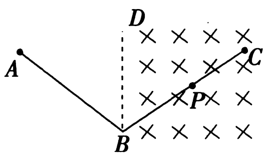
●解析



当粒子沿着磁场圆半径方向射入，离开磁场时，速度的反向延长线必然经过磁场圆圆心.

章节练习

1.(2016·杭州模拟)如图所示，一轨道由两等长的光滑斜面 AB 和 BC 组成(斜面倾角均为 θ)，两斜面在 B 处用一光滑小圆弧相连接，P 是 BC 的中点，竖直线 BD 右侧存在垂直纸面向里的匀强磁场，B 处可认为处在磁场中，一带电小球从 A 点由静止释放后能沿轨道来回运动，C 点为小球在 BD 右侧运动的最高点，则下列说法正确的是 ( )



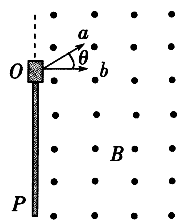
A. C 点与 A 点在同一水平线上

B. 小球向右或向左滑过 B 点时，对轨道压力相等

C. 小球向上或向下滑过 P 点时，其所受洛伦兹力相同

D. 小球从 A 到 B 的时间是从 C 到 P 时间的$\sqrt{2}$倍

2.(2013·高考广东卷)如图所示，两个初速度大小相同的同种离子 a 和 b，从 O 点沿垂直磁场方向进入匀强磁场，最后打到屏 P 上.不计重力.下列说法正确的有 ( )



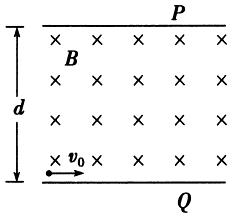
A. a、b 均带正电

B. a 在磁场中飞行的时间比 b 的短

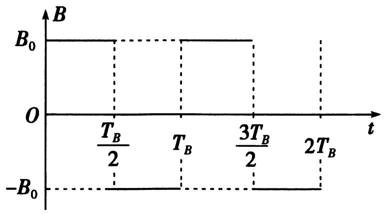
C. a 在磁场中飞行的路程比 b 的短

D. a 在 P 上的落点与 O 点的距离比 b 的近

3.(2014·高考山东卷)如图甲所示,间距为 d、垂直于纸面的两平行板 P、Q 间存在匀强磁场.取垂直于纸面向里为磁场的正方向,磁感应强度随时间的变化规律如图乙所示.$t=0$ 时刻,一质量为 m、带电量为 $+q$ 的粒子(不计重力),以初速度 v_0 由 Q 板左端靠近板面的位置,沿垂直于磁场且平行于板面的方向射入磁场区.当 B_0 和 T_B 取某些特定值时,可使 $t=0$ 时刻入射的粒子经 Δt 时间恰能垂直打在 P 板上(不考虑粒子反弹).上述 m、q、d、v_0 为已知量.



图甲



图乙

(1)若 $\Delta t=\frac{1}{2}T_B$,求 B_0;

(2)若 $\Delta t=\frac{3}{2}T_B$,求粒子在磁场中运动时加速度的大小;

(3)若 $B_0=\frac{4mv_0}{qd}$,为使粒子仍能垂直打在 P 板上,求 T_B.

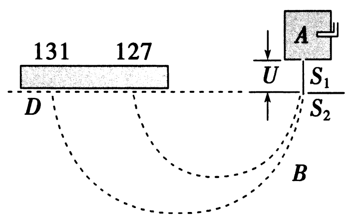
第十四讲　带电粒子在对接场中的运动

内容导读

本讲主要包括的内容是带电粒子在对接场中的运动规律，所谓对接场就是两场的对接，这两场可以是“磁场＋电场”，也可以是“电场＋磁场”，还可以是“磁场＋磁场”.

典例剖析

【例 1】(2014·浙江温州高三一检)日本福岛核电站的核泄漏事故，使碘的同位素 131 被更多的人所了解．利用质谱仪可分析碘的各种同位素，如图所示，电荷量均为 $+q$ 的碘 131 和碘 127 质量分别为 m_1 和 m_2，它们从容器 A 下方的小孔 S_1 进入电压为 U 的加速电场(入场速度忽略不计)，经电场加速后从 S_2 小孔射出，垂直进入磁感应强度为 B 的匀强磁场中，最后打到照相底片上．下列说法正确的是（　　）



A. 磁场的方向垂直于纸面向里

B. 碘 131 进入磁场时的速率为 $\sqrt{\dfrac{2qU}{m_1}}$

C. 碘 131 与碘 127 在磁场中运动的时间差值为 $\dfrac{2\pi(m_1-m_2)}{qB}$

D. 打到照相底片上的碘 131 与碘 127 之间的距离为 $\dfrac{2}{B}\left(\sqrt{\dfrac{2m_1U}{q}}-\sqrt{\dfrac{2m_2U}{q}}\right)$

● 解析

［答案］ BD

［分析］

质谱仪和回旋加速器是“电场＋磁场”的应用典范，粒子在电场中做匀加速直线运动，在磁场中的轨迹是半圆.

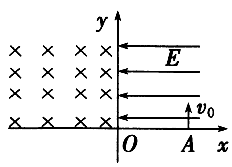
解析

粒子带正电，根据左手定则可知，磁场方向垂直纸面向外，选项 A 错误；由动能定理知，粒子在电场中得到的动能等于电场对它所做的功，即 $qU=\frac{1}{2}m_1v_1^2$，解得 $v_1=\sqrt{\frac{2qU}{m_1}}$，选项 B 正确；粒子在磁场中运动的时间 t 为周期的一半，根据周期公式 $T=\frac{2\pi m}{qB}$，在磁场中运动的时间差值 $\Delta t=\frac{\pi(m_1-m_2)}{qB}$，选项 C 错误；粒子在磁场中做匀速圆周运动的轨道半径 $R=\frac{mv}{qB}=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$，则它们的距离之差 $\Delta d=2R_1-2R_2=\frac{2}{B}\left(\sqrt{\frac{2m_1U}{q}}-\sqrt{\frac{2m_2U}{q}}\right)$，选项 D 正确.

[小结]

质谱仪和回旋加速器问题，是典型的"加速电场＋磁场"的对接场问题，粒子在匀强电场中做匀加速直线运动，在匀强磁场中做匀速圆周运动，轨迹是半圆. 做匀加速直线运动时，根据匀变速直线运动的规律或动能定理解决.

【例 2】(2016・日照检测)如图所示，坐标平面第Ⅰ象限内存在大小为 $E=4\times10^5$ N/C、方向水平向左的匀强电场，在第Ⅱ象限内存在方向垂直纸面向里的匀强磁场. 质荷比 $\frac{m}{q}=4\times10^{-10}$ kg/C 的带正电的粒子，以初速度 $v_0=2\times10^7$ m/s 从 x 轴上的 A 点垂直 x 轴射入电场，$OA=0.2$ m，不计粒子的重力.



(1)求粒子经过 y 轴时的位置到原点 O 的距离；

(2)若要使粒子不能进入第Ⅲ象限，求磁感应强度 B 的取值范围(不考虑粒子第二次进入电场后的运动情况).

● 解析

[**答案**] (1)0.4 m (2)$B \geqslant (2\sqrt{2}+2) \times 10^{-2}$ T

[**分析**]

该例属于带电粒子在“电场＋磁场”中运动的问题，粒子在电场中做类平抛运动，在磁场中的轨迹是优弧.

(1)设粒子在电场中运动时间为 t，粒子经过 y 轴时的位置与原点 O 的距离为 y，

则 $x_{OA}=\frac{1}{2}at^2$ $a=\frac{qE}{m}$ $y=v_0t$

代入数据解得 $a=1.0\times10^{15}$ m/s²，

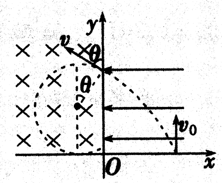
$t=2.0\times10^{-8}$ s，$y=0.4$ m.

(2)粒子经过 y 轴时在电场方向的分速度为：$v_x=at=2\times10^7$ m/s

粒子经过 y 轴时速度为 $v=\sqrt{v_x^2+v_0^2}=2\sqrt{2}\times10^7$ m/s

与 y 轴正方向夹角大小为 θ，$\tan\theta=\frac{v_x}{v_0}=1$ $\theta=45°$

要使粒子不进入第Ⅲ象限，如图所示，此时粒子做圆周运动的半径为 R，则 $R+\frac{\sqrt{2}}{2}R\leqslant y$



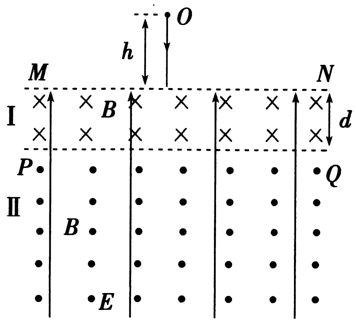
由 $qvB=m\frac{v^2}{R}$

解得 $B\geqslant(2\sqrt{2}+2)\times10^{-2}$ T.

[**小结**]

解决“电偏转＋磁偏转”的问题，要独立地用好电偏转和磁偏转的知识，特别要注意对接处的速度方向，即从一场射入另一场时的角度.

【例 3】(2017·**安徽淮北模拟**)如图所示，空间区域Ⅰ、Ⅱ有匀强电场和匀强磁场，MN、PQ 为理想边界，Ⅰ区域高度为 d，Ⅱ区域的范围足够大. 匀强电场方向竖直向上；Ⅰ、Ⅱ区域的磁感应强度大小均为 B，方向分别垂直纸面向里和向外. 一个质量为 m、带电荷量为 q 的带电小球从磁场上方的 O 点由静止开始下落，进入场区后，恰能做匀速圆周运动. 已知重力加速度为 g.



(1)试判断小球的电性并求出电场强度 E 的大小；

(2)若带电小球能进入区域Ⅱ，则 h 应满足什么条件？

(3)若带电小球运动一定时间后恰能回到 O 点，求它释放时距 MN 的高度 h.

●解析

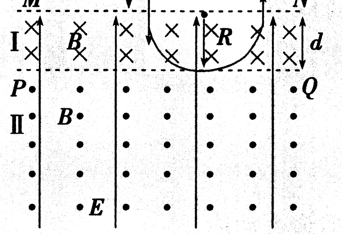
[答案] (1)正电 $\frac{mg}{q}$ (2)$h>\frac{q^2B^2d^2}{2m^2g}$ (3)$\frac{2q^2B^2d^2}{3m^2g}$.

[分析]

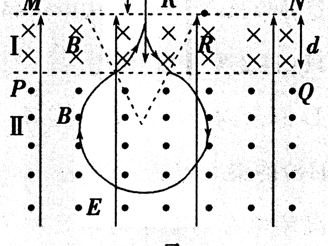
该例看似属于小球在电场与磁场的叠加场中的运动问题，但由于小球做匀速圆周运动，重力与电场力相平衡，小球相当于只受洛伦兹力，因此其实是小球在“磁场+磁场”中的运动问题.

(1)带电小球进入复合场后，恰能做匀速圆周运动，即所受合力为洛伦兹力，则重力与电场力大小相等，方向相反，重力竖直向下，电场力竖直向上，即小球带正电. 则有 $qE=mg$，解得 $E=\frac{mg}{q}$.

(2)假设下落高度为 h_0 时，带电小球在Ⅰ区域做圆周运动的圆弧与 PQ 相切时，运动轨迹如图甲所示.



甲



乙

●解析

由几何知识可知，小球的轨道半径 $R=d$，

带电小球在进入磁场前做自由落体运动，由动能定理得 $mgh_0=\frac{1}{2}mv^2$，

带电小球在磁场中做匀速圆周运动，由牛顿第二定律得 $qvB=m\frac{v^2}{R}$，

解得 $h_0=\frac{q^2B^2d^2}{2m^2g}$，

则当 $h>h_0$ 时，即 $h>\frac{q^2B^2d^2}{2m^2g}$ 时带电小球能进入区域Ⅱ.

(3)如图乙所示，因为带电小球在Ⅰ、Ⅱ两个区域运动过程中 q、v、B、m 的大小不变，故三段圆周运动的半径相同，以三个圆心为顶点的三角形为等边三角形，边长为 $2R$，内角为 $60°$，由几何关系知 $R=\frac{d}{\sin 60°}$，

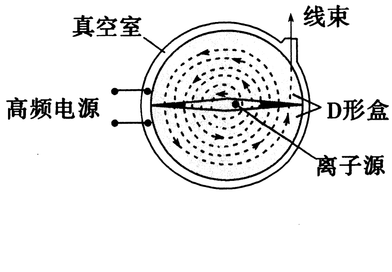
联立解得 $h=\frac{2q^2B^2d^2}{3m^2g}$.

[小结]

解决“磁场＋磁场”对接场问题，一方面要注意磁场的方向，另一方面要注意粒子的偏转方向，还要注意对接处的速度方向，建立好正确的几何关系.

章节练习

1.(2017·河南省实验中学月考)如图所示是医用回旋加速器的示意图，其核心部分是两个D形金属盒，两金属盒置于匀强磁场中，并分别与高频电源相连.现分别加速氘核($^2_1$H)和氦核($^4_2$He).下列说法中正确的是　(　　)



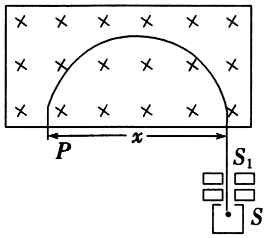
A.氘核($^2_1$H)的最大速度较大

B.它们在D形盒内运动的周期相等

C.氦核($^4_2$He)的最大动能较大

D.仅增大高频电源的频率可增大粒子的最大动能

2.(2015·天水一模)质谱仪的构造原理如图所示.从粒子源 S 出来时的粒子速度很小,可以看作初速为零,粒子经过电场加速后进入有界的垂直纸面向里的匀强磁场区域,并沿着半圆周运动而达到照相底片上的 P 点,测得 P 点到入口的距离为 x,则以下说法正确的是 ( )



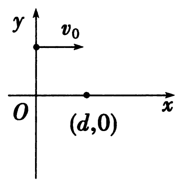
A. 粒子一定带正电

B. 粒子一定带负电

C. x 越大,则粒子的质量与电量之比一定越大

D. x 越大,则粒子的质量与电量之比一定越小

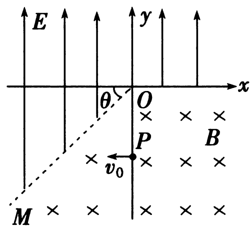
3.(2015·湖北黄石二中期末)如图所示,在第一象限存在匀强磁场,磁感应强度方向垂直于纸面(xOy 平面)向外;在第四象限存在匀强电场,方向沿 x 轴负向.在 y 轴正半轴上某点以与 x 轴正向平行、大小为 v_0 的速度发射出一带正电荷的粒子,该粒子在$(d,0)$点沿垂直于 x 轴的方向进入电场.不计重力.若该粒子离开电场时速度方向与 y 轴负方向的夹角为 θ,求:



(1)电场强度大小与磁感应强度大小的比值;

(2)该粒子在电场中运动的时间.

4.(2016·唐山联考)如图所示,在 xOy 平面内,在 $x>0$ 范围内以 x 轴为电场和磁场的边界,在 $x<0$ 范围内以第三象限内的直线 OM 为电场与磁场的边界,OM 与 x 轴负方向成 $\theta=45°$角,在边界的下方空间存在着垂直于纸面向里的匀强磁场,磁感应强度大小为 $B=0.1$ T,在边界的上方有沿 y 轴正方向的匀强电场,场强大小为 $E=32$ N/C;在 y 轴上的 P 点有一个不计重力的带电微粒,以沿 x 轴负方向的初速度 $v_0=2\times10^3$ m/s 射出,已知 $OP=0.8$ cm,微粒所带电荷量 $q=-5\times10^{-18}$ C,质量 $m=1\times10^{-24}$ kg,求:

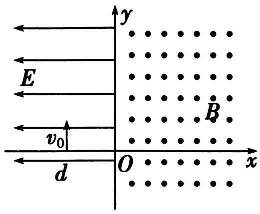


(1)带电微粒第一次进入电场时的位置坐标;

(2)带电微粒从 P 点出发到第三次经过电、磁场边界经历的总时间;

(3)带电微粒第四次经过电、磁场边界时的速度大小.

5.(2016·山西榆社中学月考)如图所示,在 $x<0$ 的空间中,存在沿 x 轴负方向的匀强电场,电场强度 $E=10\ \text{N/C}$;在 $x>0$ 的空间中,存在垂直 xy 平面方向向外的匀强磁场,磁感应强度 $B=0.5\ \text{T}$. 一带负电的粒子(比荷 $q/m=160\ \text{C/kg}$),在距 O 点左边 $x=0.06\ \text{m}$ 处的 d 点以 $v_0=8\ \text{m/s}$ 的初速度沿 y 轴正方向开始运动,不计带电粒子的重力. 求:



(1)带电粒子开始运动后第一次通过 y 轴时的速度大小和方向;

(2)带电粒子进入磁场后经多长时间返回电场;

(3)带电粒子运动的周期.

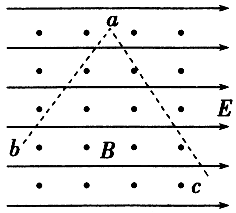
第十五讲　带电粒子在叠加场中的运动

内容导读

本讲主要讲述带电粒子在叠加场中的运动及其解法，所谓“叠加场”，就是磁场、电场和重力场等多个场在同一空间出现，带电粒子同时受到多个力的作用而运动.

典例剖析

【例 1】(2015·浙江三校模拟)如图所示，空间中存在正交的匀强电场 E 和匀强磁场 B(匀强电场水平向右)，在竖直平面内从 a 点沿 ab、ac 方向抛出两带电小球(不考虑两带电小球的相互作用，两球电荷量始终不变)，关于小球的运动，下列说法正确的是　　(　　)



A. 沿 ab、ac 方向抛出的带电小球都可能做直线运动

B. 只有沿 ab 抛出的带电小球才可能做直线运动

C. 若有小球能做直线运动，则它一定是匀速运动

D. 两小球在运动过程中机械能均守恒

●解析

[答案]　AC

[分析]

多场叠加并存时，粒子的运动与洛伦兹力的大小和方向休戚相关，要注意分析对待.

沿 ab 方向抛出的带正电小球，或沿 ac 方向抛出的带负电的小球，在重力、电场力、洛伦兹力作用下，都可能做匀速直线运动，选项 A 正确，B 错误. 在重力、电场力、洛伦兹力三力都存在时的直线运动一定是匀速直线运动，选项 C 正确. 两小球在运动过程中除重力做功外还有电场力做功，故机械能不守恒，选项 D 错误.

[小结]

1. 粒子在没有杆约束的情况下做直线运动，一定做匀速直线运动，洛伦兹力是恒力.

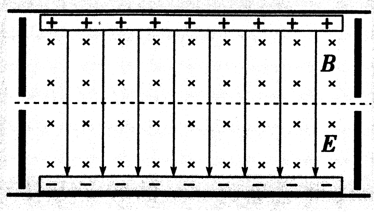
2. 洛伦兹力对粒子永不做功；重力做功导致重力势能的变化，电场力做功导致电势能的变化，电势能的变化等于机械能的变化.

● 解析

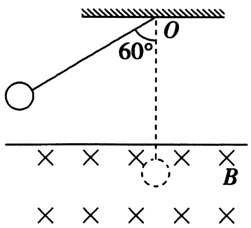
3. 速度选择器是电场和磁场形成的叠加场的典范，其口诀如下：

《速度选择器》
电磁速度之间，满足右手螺旋。
二力如果平衡，必做匀速直线。
两场决定速度，故与粒子无关。
初速不等此值，运动将是曲线。
轨迹究竟如何，向着合力偏转。
动能小者变大，大者亦将相反。

解释：电场、磁场和速度两两垂直，且满足右手螺旋关系. 电场力和洛伦兹力如果相互平衡，粒子必做匀速直线运动. 粒子的速度为 $v=\frac{E}{B}$，仅由两场的强弱决定，与粒子的电性、质量、电量均无关. 如果射入速度选择器的初速度不等于这个速度，粒子的运动将是曲线. 如果初速较大，合力向着洛伦兹力一侧，轨迹向着该侧偏转，洛伦兹力永不做功，电场力必然做负功，动能必然减少，电势能必然增加；如果初速较小，合力向着电场力一侧，轨迹向着该侧偏转，洛伦兹力永不做功，电场力必然做正功，动能必然增加，电势能必然减少. 如图所示.



【例 2】(2016 · 吉林模拟)如图所示，一带电塑料小球质量为 m，用丝线悬挂于 O 点，并在竖直平面内摆动，最大摆角为 60°，水平磁场垂直于小球摆动的平面. 当小球自左方摆到最低点时，丝线上的张力恰为零，则小球自右方最大摆角处摆到最低点时丝线上的张力为 ( )



A. 0　　B. $2mg$

C. $4mg$　　D. $6mg$

●解析

[答案] C

[分析]

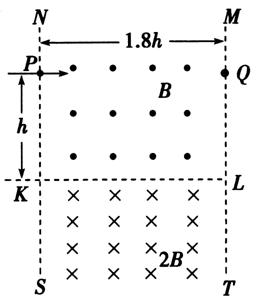
磁场方向一定,洛伦兹力的方向由速度方向决定.

设小球自左方摆到最低点时速度为 v,则 $\frac{1}{2}mv^2=mgL(1-\cos 60°)$,此时 $qvB-mg=m\frac{v^2}{L}$,当小球自右方摆到最低点时,v 大小不变,洛伦兹力方向发生变化,$F_T-mg-qvB=m\frac{v^2}{L}$,得 $F_T=4mg$,选项 C 正确.

[小结]

若粒子运动时没有电场,洛伦兹力可以提供部分向心力,由于洛伦兹力不做功,机械能依旧守恒.

【例 3】(2014·高考重庆卷)如图所示,在无限长的竖直边界 NS 和 MT 间充满匀强电场,同时该区域上、下部分分别充满方向垂直于 $NSTM$ 平面向外和向内的匀强磁场,磁感应强度大小分别为 B 和 $2B$,KL 为上下磁场的水平分界线,在 NS 和 MT 边界上,距 KL 高 h 处分别有 P、Q 两点,NS 和 MT 间距为 $1.8h$,质量为 m、带电量为 $+q$ 的粒子从 P 点垂直于 NS 边界射入该区域,在两边界之间做圆周运动,重力加速度为 g.



(1)求电场强度的大小和方向.

(2)要使粒子不从 NS 边界飞出,求粒子入射速度的最小值.

(3)若粒子能经过 Q 点从 MT 边界飞出,求粒子入射速度的所有可能值.

●解析

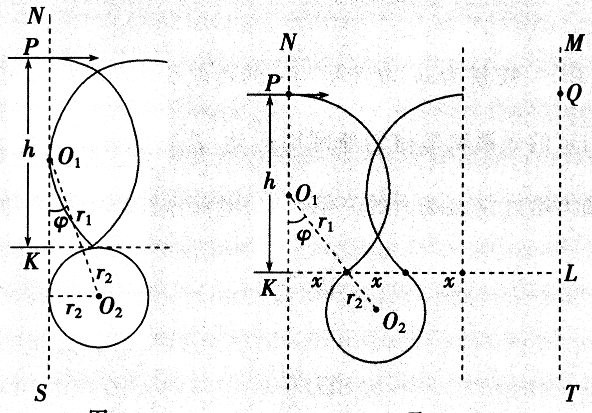
[答案] (1)$\frac{mg}{q}$,方向竖直向上 (2)$(9-6\sqrt{2})\frac{qBh}{m}$ (3)见解析

[分析]

该例也属于叠加场问题,重力仍旧与电场力平衡,洛伦兹力提供向心力.

(1)设电场强度大小为 E.由题意有 $mg=qE$,得 $E=\frac{mg}{q}$,方向竖直向上.

● 解析



甲　　　　　　　　乙

(2)如图甲所示,设粒子不从 NS 边飞出的入射速度最小值 $v_{\min}$,对应的粒子在上、下区域的运动半径分别为 r_1 和 r_2,圆心的连线与 NS 的夹角为 φ;

由 $r=\dfrac{mv}{qB}$,有 $r_1=\dfrac{mv_{\min}}{qB}$,$r_2=\dfrac{1}{2}r_1$

由 $(r_1+r_2)\sin\varphi=r_2$,$r_1+r_1\cos\varphi=h$

则粒子入射速度的最小值为 $v_{\min}=(9-6\sqrt{2})\dfrac{qBh}{m}$.

(3)如图乙所示,设粒子入射速度为 v,粒子在上、下方区域的运动半径分别为 r_1 和 r_2,粒子第一次通过 KL 时距离 K 点为 x.

由题意有 $3nx=1.8h(n=1,2,3,\cdots)$,$\dfrac{3}{2}x\geqslant\dfrac{(9-6\sqrt{2})h}{2}$,$x=\sqrt{r_1^2-(h-r_1)^2}$

得 $r_1=\left(1+\dfrac{0.36}{n^2}\right)\dfrac{h}{2}$,$n<3.5$,即 $n=1$ 时,$v=\dfrac{0.68qBh}{m}$;$n=2$ 时,$v=\dfrac{0.545qBh}{m}$;$n=3$ 时,$v=\dfrac{0.52qBh}{m}$.

[小结]

若叠加场由重力场、电场和磁场构成,粒子依旧做匀速圆周运动,则重力必然与电场力相平衡,洛伦兹力提供向心力.

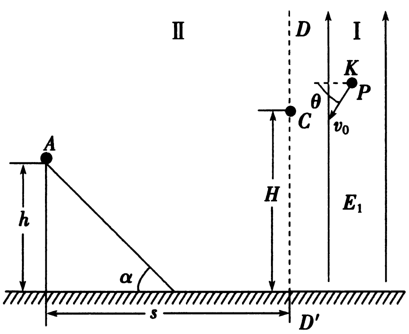
章节练习

1.(2016·商丘模拟)一质量为 m,电荷量为 q 的负电荷在磁感应强度为 B 的匀强磁场中绕固定的正电荷沿固定的光滑轨道做匀速圆周运动,若磁场方向垂直于它的运动平面,且作用在负电荷的电场力恰好是磁场力的三倍,则负电荷做圆周运动的角速度可能是 ( )

A. $\frac{4qB}{m}$　　B. $\frac{3qB}{m}$

C. $\frac{2qB}{m}$　　D. $\frac{qB}{m}$

2.如图所示,图面内有竖直线 DD',过 DD' 且垂直于图面的平面将空间分成Ⅰ、Ⅱ两区域.区域Ⅰ有方向竖直向上的匀强电场和方向垂直于图面的匀强磁场 B(图中未画出);区域Ⅱ有固定在水平地面上高 $h=2l$、倾角 $\alpha=\pi/4$ 的光滑绝缘斜面,斜面顶端与直线 DD' 距离 $s=4l$,区域Ⅱ可加竖直方向的大小不同的匀强电场(图中未画出);C 点在 DD' 上,距地面高 $H=3l$.零时刻,质量为 m、带电荷量为 q 的小球 P 在 K 点具有大小 $v_0=\sqrt{gl}$、方向与水平面夹角 $\theta=\pi/3$ 的速度,在区域Ⅰ内做半径 $r=3l/\pi$ 的匀速圆周运动,经 C 点水平进入区域Ⅱ.某时刻,不带电的绝缘小球 A 由斜面顶端静止释放,在某处与刚运动到斜面的小球 P 相遇.小球视为质点,不计空气阻力及小球 P 所带电荷量对空间电磁场的影响.l 已知,g 为重力加速度.

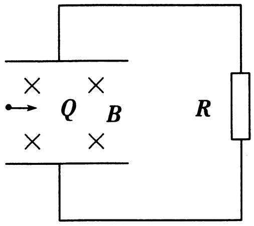


(1)求匀强磁场的磁感应强度 B 的大小;

(2)若小球 A、P 在斜面底端相遇,求释放小球 A 的时刻 t_A;

(3)若小球 A、P 在时刻 $t=\beta\sqrt{l/g}$(β 为常数)相遇于斜面某处,求此情况下区域Ⅱ的匀强电场的场强 E,并讨论场强 E 的极大值和极小值及相应的方向.

3.(2015·怀化二模)磁流体发电机可以把气体的内能直接转化为电能,是一种低碳环保发电机,有着广泛的发展前景,其发电原理示意图如图所示.将一束等离子体(即高温下电离的气体,含有大量带正电和负电的微粒,整体上呈电中性)喷射入磁感应强度为 B 的匀强磁场中,磁场区域有两块面积为 S、相距为 d 的平行金属板与外电阻 R 相连构成一电路,设气流的速度为 v,气体的电导率(电阻率的倒数)为 g.则以下说法正确的是(　　)



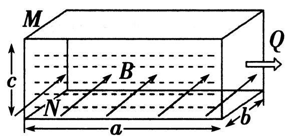
A. 上板是电源的正极，下板是电源的负极

B. 两板间电势差为 $U=Bdv$

C. 流经 R 的电流为 $I=\frac{Bdv}{R}$

D. 流经 R 的电流为 $I=\frac{BdvSg}{gSR+d}$

4.(2015·上饶二模)为了测量某化工厂的污水排放量，技术人员在该厂的排污管末端安装了如图所示的流量计，该装置由绝缘材料制成，长、宽、高分别为 $a=1$ m、$b=0.2$ m、$c=0.2$ m，左、右两端开口，在垂直于前、后面的方向加磁感应强度为 $B=1.25$ T 的匀强磁场，在上、下两个面的内侧固定有金属板 M、N 作为电极，污水充满装置以某一速度从左向右匀速流经该装置时，测得两个电极间的电压 $U=1$ V. 且污水流过该装置时受到阻力作用，阻力 $f=kLv$，其中比例系数 $k=15$ N·s/m^2，L 为污水沿流速方向的长度，v 为污水的流速. 下列说法中正确的是 (　　)



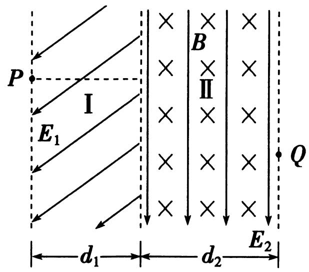
A. 金属板 M 电势不一定高于金属板 N 的电势，因为污水中负离子较多

B. 污水中离子浓度的高低对电压表的示数也有一定影响

C. 污水的流量(单位时间内流出的污水体积)$Q=0.16$ m^3/s

D. 为使污水匀速通过该装置，左、右两侧管口应施加的压强差为 $\Delta p=1\ 500$ Pa

5.(2015·陕西五校联考)如图所示,区域Ⅰ内有与水平方向成45°角的匀强电场E_1,区域宽度为d_1,区域Ⅱ内有正交的有界匀强磁场B和匀强电场E_2,区域宽度为d_2,磁场方向垂直纸面向里,电场方向竖直向下.一质量为m、带电荷量为q的微粒在区域Ⅰ左边界的P点,由静止释放后水平向右做直线运动,进入区域Ⅱ后做匀速圆周运动,从区域Ⅱ右边界上的Q点穿出,其速度方向改变了60°,重力加速度为g,求:

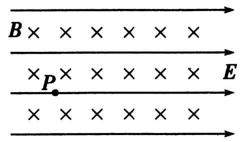


(1)区域Ⅰ和区域Ⅱ内匀强电场的电场强度E_1、E_2的大小?

(2)区域Ⅱ内匀强磁场的磁感应强度B的大小.

(3)微粒从P运动到Q的时间有多长?

6.(2016·高考天津卷)如图所示,空间中存在着水平向右的匀强电场,电场强度大小 $E=5\sqrt{3}$ N/C,同时存在着水平方向的匀强磁场,其方向与电场方向垂直,磁感应强度大小 $B=0.5$ T.有一带正电的小球,质量 $m=1\times10^{-6}$ kg,电荷量 $q=2\times10^{-6}$ C,正以速度 v 在图示的竖直面内做匀速直线运动,当经过 P 点时撤掉磁场(不考虑磁场消失引起的电磁感应现象),取 $g=10$ m/s^2.求:



(1)小球做匀速直线运动的速度 v 的大小和方向;

(2)从撤掉磁场到小球再次穿过 P 点所在的这条电场线经历的时间 t.

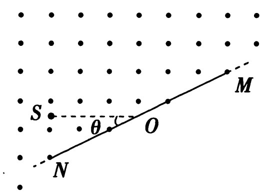
第十六讲 粒子源问题讨论

内容导读

本讲主要讲授粒子源问题的解题策略，关于粒子源问题，大致可以划分为两类，一类是粒子速度大小相同方向不同的题型，粒子对应的完整的轨迹圆是一系列等大共点圆；另一类是粒子速度方向相同大小不同的题型，粒子对应的完整的轨迹圆是一系列共点内切圆.

典例剖析

【例 1】(2015・高考四川卷)如图所示，S 处有一电子源，可向纸面内任意方向发射电子，平板 MN 垂直于纸面，在纸面内的长度 $L=9.1$ cm，中点 O 与 S 间的距离 $d=4.55$ cm，MN 与 SO 直线的夹角为 θ，板所在平面有电子源的一侧区域有方向垂直于纸面向外的匀强磁场，磁感应强度 $B=2.0\times10^{-4}$ T，电子质量 $m=9.1\times10^{-31}$ kg，电量 $e=-1.6\times10^{-19}$ C，不计电子重力，电子源发射速度 $v=1.6\times10^{6}$ m/s 的一个电子，该电子打在板上可能位置的区域的长度为 l，则 (　　)



A. $\theta=90^\circ$时，$l=9.1$ cm

B. $\theta=60^\circ$时，$l=9.1$ cm

C. $\theta=45^\circ$时，$l=4.55$ cm

D. $\theta=30^\circ$时，$l=4.55$ cm

● 解析

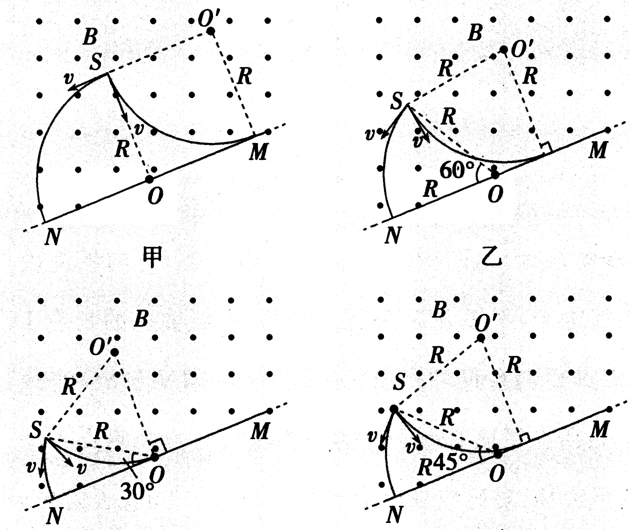
[答案] AD

[分析]

该例属于粒子源问题，粒子的速度大小相等方向不同.

●解析

电子在磁场中运动，洛伦兹力提供向心力：$evB=\frac{mv^2}{R}$，$R=\frac{mv}{Be}=4.55\times10^{-2}\ \text{m}=4.55\ \text{cm}=\frac{L}{2}$，$\theta=90^\circ$时，击中板的范围如图甲，$l=2R=9.1\ \text{cm}$，选项 A 正确；$\theta=60^\circ$时，击中板的范围如图乙所示，$l<2R=9.1\ \text{cm}$，选项 B 错误；$\theta=30^\circ$，如图丙所示，$l=R=4.55\ \text{cm}$，当 $\theta=45^\circ$时，击中板的范围如图丁所示，$l>R(R=4.55\ \text{cm})$，选项 D 正确，C 错误.



甲　乙　丙　丁

［小结］

若粒子源发射的粒子速度大小相等、方向不同，打在挡板上的粒子范围规律是：

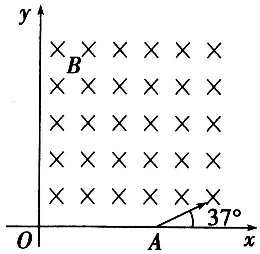
(1)如果在平行于挡板且经过粒子源的边界与挡板之间仅有磁场，则其范围的上限是与边界相切的圆，下限是与挡板相切的圆.

(2)如果在粒子源周围的磁场是无界的，则其范围的上限是圆的直径，下限是与挡板相切的圆.

速度大小相等方向不同粒子打在挡板上的范围

粒子打板有区间，轨迹等大共点圆.
平行边界过该点，两边相切上下限.
倘无边界过该点，上为直径下切线.

【例 2】(2018·甘肃天水二中模拟)如图所示,一束包含各种速率的质量为 m、电量为 q 的带正电的粒子,从 x 轴上的 A 点(不在坐标原点)以 37°角射入仅存在于第一象限的匀强磁场中,匀强磁场的磁感应强度大小为 B,垂直于 xOy 平面向里,粒子的重力不计,则 ( )



A. 粒子做圆周运动的圆心可能在 x 轴上

B. 速率较大的粒子可垂直于 y 轴射出磁场

C. 从 x 轴射出的粒子运动时间最长

D. 垂直于 y 轴射出的粒子在磁场中的运动时间最短

●解析

[答案] BC

[分析]

该例是粒子源的另一类问题,粒子的速度方向相同大小不等.

粒子做圆周运动的圆心都在垂直于初速度斜向左上方的直线上,A 项错误.速率越大,半径越大,当圆心在 y 轴上时,粒子射出磁场的速度就垂直于 y 轴了,B 项正确.粒子从 x 轴射出时,有最大的圆心角,运动时间最长,C 项正确.半径越大的粒子,做圆周运动所对应的圆心角越小,因此垂直于 y 轴的粒子,运动时间不是最短的,D 项错误.

[小结]

若粒子源发射的粒子速度方向相同、大小不同,磁场仅存在于第一象限,粒子从 x 轴上的某点同向射入磁场.轨迹是一系列共点内切圆,圆心都在经过切点的同一条直线上,如图所示.

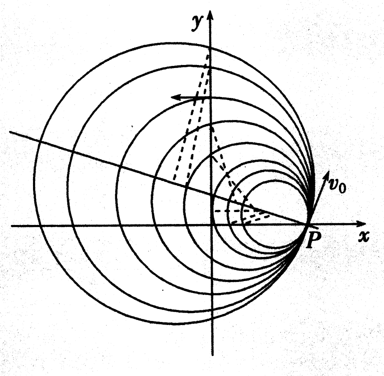
(1)如果粒子又从横轴射出磁场,在所有的粒子中运动时间是相等的,而且是最长的;

(2)如果粒子从纵轴射出磁场,速度大的运动时间短;

●解析

(3)垂直纵轴射出磁场，圆心必然在纵轴上；

(4)如果从坐标原点射入磁场，粒子的轨迹都是劣弧，运动时间都是相等的.



速度方向相同大小不等的粒子在有界磁场中的运动时间

第一象限有磁场，粒子共点且同向.

轨迹共点内切圆，圆心共线君莫忘.

又从横轴射出场，时间相等且最长.

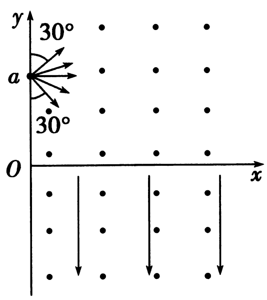
若从纵轴射出场，时间短则速度强.

垂直纵轴射出场，圆心必在纵轴上.

若在原点射入场，运动时间都一样.

章节练习

1.(2015·济宁三模)如图所示，在 xOy 平面的第一、四象限内存在着方向垂直纸面向外、磁感应强度为 B 的匀强磁场，第四象限内存在方向沿 $-y$ 方向、电场强度为 E 的匀强电场. 从 y 轴上坐标为 a 的一点向磁场区发射速度大小不等的带正电同种粒子，速度方向范围是与 $+y$ 方向成 30°～150°，且在 xOy 平面内. 结果所有粒子经过磁场偏转后都垂直打到 x 轴上，然后进入第四象限的匀强电场区. 已知带电粒子电量为 q，质量为 m，重力不计. 求：

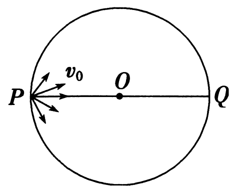


(1)垂直 y 轴方向射入磁场的粒子运动的速度大小 v_1；

(2)粒子在第一象限的磁场中运动的最长时间以及对应的射入方向；

(3)从 x 轴上 $x=(\sqrt{2}-1)a$ 点射入第四象限的粒子穿过电磁场后经过 y 轴上 $y=-b$ 的点，求该粒子经过 $y=-b$ 点的速度大小.

2.(2015·长沙模拟)如图所示，在半径为 R 的圆形区域内(圆心为 O)有匀强磁场，磁感应强度为 B，方向垂直于圆平面(未画出). 一群具有相同比荷的负离子以相同的速率由 P 点在纸平面内向不同方向射入磁场中，发生偏转后又飞出磁场，若离子在磁场中运动的轨道半径大于 R，则下列说法中正确的是(不计离子的重力)　　(　　)



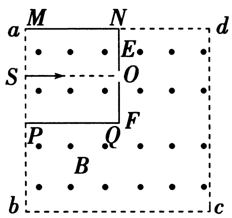
A. 从 Q 点飞出的离子在磁场中运动的时间最长

B. 沿 PQ 方向射入的离子飞出时偏转角最大

C. 所有离子飞出磁场时的动能一定相等

D. 在磁场中运动时间最长的离子不可能经过圆心 O 点

3.(2015·邯郸质检)如图所示,边长 $L=0.2$ m 的正方形 $abcd$ 区域(含边界)内,存在着垂直于区域的横截面(纸面)向外的匀强磁场,磁感应强度 $B=5.0\times10^{-2}$ T. 带电平行金属板 MN、PQ 间形成了匀强电场 E(不考虑金属板在其他区域形成的电场),MN 放在 ad 边上,两板左端 M、P 恰在 ab 边上,两板右端 N、Q 间有一绝缘挡板 EF,EF 中间有一小孔 O. 金属板长度、板间距、挡板长度均为 $l=0.1$ m. 在 M 和 P 的中间位置有一离子源 S,能够正对孔 O 不断发射出各种速率的带正电离子,离子的电荷量均为 $q=3.2\times10^{-19}$ C,质量均为 $m=6.4\times10^{-26}$ kg. 不计离子的重力,忽略离子之间的相互作用及离子打到金属板或挡板上后的反弹.



(1)当电场强度 $E=1\times10^{4}$ N/C 时,求能够沿 SO 连线穿过孔 O 的离子的速率.

(2)电场强度取值在一定范围时,可使沿 SO 连线穿过 O 并进入磁场区域的离子直接从 bc 边射出,求满足条件的电场强度的范围.

选修 3-2 电磁感应

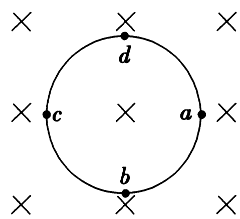
第十七讲 楞次定律和法拉第电磁感应定律

内容导读

可以说,楞次定律和法拉第电磁感应定律是电磁感应的两大基本定律,一个用以判断感应电流的方向,一个用以计算感应电动势的大小.本讲从此处着眼,夯实电磁感应的基础知识.

典例剖析

【例 1】(2016 · 杭州模拟)如图所示,匀强磁场垂直圆形线圈指向纸内,a、b、c、d 为圆形线圈上等距离的四点,现用外力在上述四点将线圈拉成正方形,且线圈仍处在原先所在平面内,则在线圈发生形变的过程中 ( )



A. 线圈中将产生 $abcda$ 方向的感应电流

B. 线圈中将产生 $adcba$ 方向的感应电流

C. 线圈中感应电流方向无法判断

D. 线圈中无感应电流

● 解析

[答案] A

[分析]

感应电流的方向完全取决于磁通量的增减,具体为面积的增减.

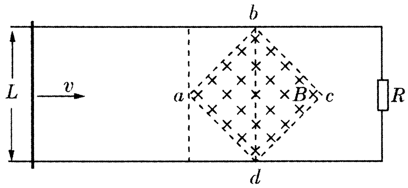
周长一定时,圆形的面积最大.本题线圈面积变小,磁通量变小,有感应电流产生.由楞次定律可知线圈中将产生顺时针方向的感应电流.选项 A 正确.

[小结]

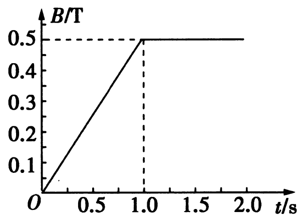
1. 感应电流产生的条件:(1)电路闭合;(2)磁通量有变化.

2. 感应电流的方向:用楞次定律判断(增反减同、来拒去留、增缩减扩).动生型感应电流还可用右手定则判断.

【例 2】(2015·高考广东卷)如图甲所示,平行长直金属导轨水平放置,间距 $L=0.4$ m. 导轨右端接有阻值 $R=1\ \Omega$ 的电阻. 导体棒垂直放置在导轨上,且接触良好,导体棒及导轨的电阻均不计,导轨间正方形区域 $abcd$ 内有方向竖直向下的匀强磁场,bd 连线与导轨垂直,长度也为 L,从 0 时刻开始,磁感应强度 B 的大小随时间 t 变化,规律如图乙所示;同一时刻,棒从导轨左端开始向右匀速运动,1 s 后刚好进入磁场,若使棒在导轨上始终以速度 $v=1$ m/s 做直线运动,求:



甲



乙

(1)棒进入磁场前,回路中的电动势 E;

(2)棒在运动过程中受到的最大安培力 F,以及棒通过三角形 abd 区域时电流 i 与时间 t 的关系式.

● 解析

[**答案**] (1)0.04 V (2)0.04 N,方向向左,$i=(t-1)$A ($1\ \text{s}\leqslant t\leqslant 1.2\ \text{s}$)

[**分析**]

该例着重传授如何应用法拉第电磁感应定律计算感应电动势的方法,培养结合图象分析问题的能力.

(1)棒进入磁场前 $E=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=S\cdot\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$ ①

由几何关系得 $S=\dfrac{1}{2}L^2$ ②

由题图知 $\dfrac{\Delta B}{\Delta t}=0.5$ T/s ③

联立①②③解得 $E=0.04$ V. ④

●解析

(2)棒在 bd 位置时 E 最大 $E_m=BLv$ ⑤

最大电流 $I_m=\frac{E_m}{R}$ ⑥

最大安培力 $F_安=BI_mL$ ⑦

代入得 $F_安=\frac{B^2L^2v}{R}=0.04\ N$,方向向左 ⑧

在 abd 区域,t 时刻有效长度 $L'=v\times(t-1)\times2=2v(t-1)$ ⑨

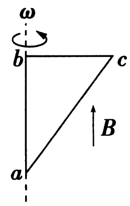
$E'=BL'v$ ⑩

$i=\frac{E'}{R}=\frac{BL'v}{R}=(t-1)\,A\quad(1\ s\leqslant t\leqslant1.2\ s)$.

[**小结**]

1. 感应电动势:用法拉第电磁感应定律 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$计算.其中感生型$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta B}{\Delta t}S\sin\theta$中,变化率$\frac{\Delta B}{\Delta t}$是 $B-t$ 图象的斜率;动生型$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=B\frac{\Delta S}{\Delta t}\sin\theta$中,$\Delta S$ 是导体棒扫过的面积,而非线圈本身的面积;θ 是 B 和 S 的夹角.
2. 动生型感应电动势:用法拉第电磁感应定律可以计算,也可用公式 $E=Blv\sin\theta$ 计算,其中 θ 是 B、l、v 中任两个量的夹角.l 既是导体棒的有效切割长度(磁场中的长度),也是导体棒的等效切割长度(曲线端口之间的线段长度).

【例 3】(2015·高考全国卷Ⅱ)如图,直角三角形金属框 abc 放置在匀强磁场中,磁感应强度大小为 B,方向平行于 ab 边向上.当金属框绕 ab 边以角速度 ω 逆时针转动时,a、b、c 三点的电势分别为 U_a、U_b、U_c.已知 bc 边的长度为 l.下列判断正确的是 ( )



A. $U_a>U_c$,金属框中无电流

B. $U_b>U_c$,金属框中电流方向沿 $a-b-c-a$

C. $U_{bc}=-\frac{1}{2}Bl^2\omega$,金属框中无电流

D. $U_{bc}=\frac{1}{2}Bl^2\omega$,金属框中电流方向沿 $a-c-b-a$

●解析

［答案］ C

［分析］

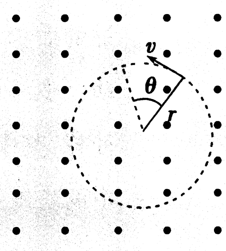
该例着重传授解决导体棒转动切割磁感线产生的感应电动势的计算方法.

金属框绕 ab 边转动时，闭合回路 abc 中的磁通量始终为零（即不变），所以金属框中无电流. 金属框在逆时针转动时，bc 边和 ac 边均切割磁感线，由右手定则可知 $U_b<U_c$，$U_a<U_c$，所以根据 $E=Blv$ 可知，$U_{bc}=U_{ac}=-Blv=-Bl\dfrac{0+\omega l}{2}=-\dfrac{1}{2}Bl^2\omega$. 由以上分析可知选项 C 正确.

［小结］

1. 转动切割电动势：用二级结论 $E=Br\bar{v}=\dfrac{1}{2}Br^2\omega$ 计算. 该结论可由法拉第电磁感应定律推导而来，也可由平动切割公式 $E=Blv\sin\theta$ 推导而来，具体推导方法如下：

(1)根据平均速度推导



如图所示，长为 r 的导体棒围绕一个端点垂直于匀强磁场转动，由于棒上各点的线速度不同，很显然不能直接套用 $E=BLv$，可是根据圆周运动线速度与角速度满足 $v=r\omega$，在角速度一定时，线速度与半径成正比，即线速度与半径成线性关系. 凡是有线性关系的物理量一律可以用“值的平均”求“平均值”，所以棒的平均速度为 $v=\dfrac{0+v}{2}=\dfrac{v}{2}$，则棒产生的电动势为 $E=Br\bar{v}=\dfrac{1}{2}Br^2\omega$.

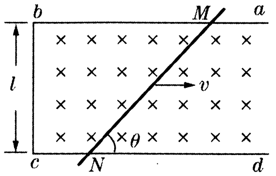
(2)根据切割面积推导

假设在 Δt 时间内，导体棒的切割面积为 ΔS，扇形的面积 $\Delta S=\dfrac{1}{2}r\cdot r\theta=\dfrac{1}{2}r\cdot r\cdot(\omega\Delta t)$，再根据法拉第电磁感应定律 $E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，可得 $E=\dfrac{1}{2}Br^2\omega$.

2. 拓展：如果棒绕着棒上某点旋转，或棒绕着棒的延长线上某点旋转，则电动势应是 $E=\dfrac{1}{2}B(r_1^2-r_2^2)\omega$，其中 r_1、r_2 是两端点与圆心的距离.

章节练习

1.(2015·高考安徽卷)如图所示,$abcd$ 为水平放置的平行"匚"形光滑金属导轨,间距为 l,导轨间有垂直于导轨平面的匀强磁场,磁感应强度大小为 B,导轨电阻不计,已知金属杆 MN 倾斜放置,与导轨成 θ 角,单位长度的电阻为 r,保持金属杆以速度 v 沿平行于 cd 的方向滑动(金属杆滑动过程中与导轨接触良好).则 ( )



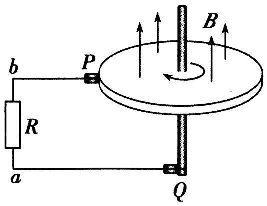
A. 电路中感应电动势的大小为$\dfrac{Blv}{\sin\theta}$

B. 电路中感应电流的大小为$\dfrac{Bv\sin\theta}{r}$

C. 金属杆所受安培力的大小为$\dfrac{B^2lv\sin\theta}{r}$

D. 金属杆的热功率为$\dfrac{B^2lv^2}{r\sin\theta}$

2.(2016·高考全国卷Ⅱ)法拉第圆盘发电机的示意图如图所示.铜圆盘安装在竖直的铜轴上,两铜片 P、Q 分别与圆盘的边缘和铜轴接触.圆盘处于方向竖直向上的匀强磁场 B 中.圆盘旋转时,关于流过电阻 R 的电流,下列说法正确的是 ( )



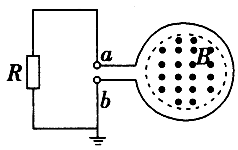
A. 若圆盘转动的角速度恒定,则电流大小恒定

B. 若从上向下看,圆盘顺时针转动,则电流沿 a 到 b 的方向流动

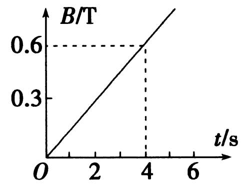
C. 若圆盘转动方向不变,角速度大小发生变化,则电流方向可能发生变化

D. 若圆盘转动的角速度变为原来的 2 倍,则电流在 R 上的热功率也变为原来的 2 倍

3.(2015·合肥二模)如图甲所示,一个匝数 $n=100$ 的圆形导体线圈,面积 $S_1=0.4\ m^2$,电阻 $r=1\ \Omega$. 在线圈中存在面积 $S_2=0.3\ m^2$ 的垂直线圈平面向外的匀强磁场区域,磁感应强度 B 随时间 t 变化的关系如图乙所示. 有一个 $R=2\ \Omega$ 的电阻,将其两端 a、b 分别与图甲中的圆形线圈相连接,b 端接地,则下列说法正确的是 (　　)



甲



乙

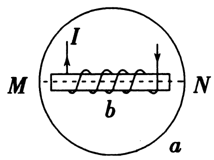
A. 圆形线圈中产生的感应电动势 $E=6$ V

B. 在 0～4 s 时间内通过电阻 R 的电荷量 $q=8$ C

C. 设 b 端电势为零,则 a 端的电势 $\varphi_a=3$ V

D. 在 0～4 s 时间内电阻 R 上产生的焦耳热 $Q=18$ J

4.(2015·佛山高三质检)如图所示,一通电螺线管 b 放在闭合金属线圈 a 内,螺线管的中心轴线恰和线圈的一条直径 MN 重合. 要使线圈 a 中产生感应电流,可采用的方法有 (　　)



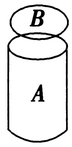
A. 使通电螺线管中的电流发生变化

B. 使螺线管绕垂直于线圈平面且过线圈圆心的轴转动

C. 使线圈 a 以 MN 为轴转动

D. 使线圈绕垂直于 MN 的直径转动

5.(2016·长沙模拟)磁悬浮高速列车在我国上海已投入运行数年.如图所示就是磁悬浮的原理,图中 A 是圆柱形磁铁,B 是用高温超导材料制成的超导圆环.将超导圆环 B 水平放在磁铁 A 上,它就能在磁力的作用下悬浮在磁铁 A 的上方空中,则 ( )



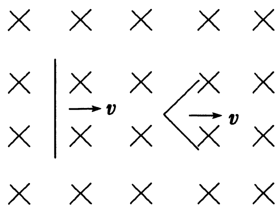
A.在 B 放入磁场的过程中,B 中将产生感应电流;当稳定后,感应电流消失

B.在 B 放入磁场的过程中,B 中将产生感应电流;当稳定后,感应电流仍存在

C.若 A 的 N 极朝上,B 中感应电流的方向为顺时针方向(从上往下看)

D.若 A 的 N 极朝上,B 中感应电流的方向为逆时针方向(从上往下看)

6.(2015·高考海南卷)如图所示,空间有一匀强磁场,一直金属棒与磁感应强度方向垂直,当它以速度 v 沿与棒和磁感应强度都垂直的方向运动时,棒两端的感应电动势大小为 E,将此棒弯成两段长度相等且相互垂直的折线,置于与磁感应强度相垂直的平面内,当它沿两段折线夹角平分线的方向以速度 v 运动时,棒两端的感应电动势大小为 E'.则 $\frac{E'}{E}$ 等于 ( )



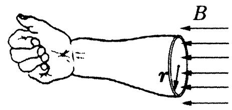
A. $\frac{1}{2}$

B. $\frac{\sqrt{2}}{2}$

C. 1

D. $\sqrt{2}$

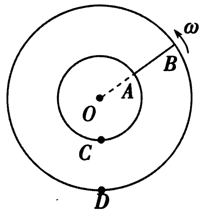
7.(2015·高考江苏卷)做磁共振(MRI)检查时,对人体施加的磁场发生变化时会在肌肉组织中产生感应电流.某同学为了估算该感应电流对肌肉组织的影响,将包裹在骨骼上的一圈肌肉组织等效成单匝线圈,线圈的半径 $r=5.0\ \text{cm}$,线圈导线的截面积 $A=0.80\ \text{cm}^2$,电阻率 $\rho=1.5\ \Omega\cdot\text{m}$.如图所示,匀强磁场方向与线圈平面垂直,若磁感应强度 B 在 0.3 s 内从 1.5 T 均匀地减为零,求:(计算结果保留一位有效数字)



(1)该圈肌肉组织的电阻 R;

(2)该圈肌肉组织中的感应电动势 E;

(3)0.3 s 内该圈肌肉组织中产生的热量 Q.

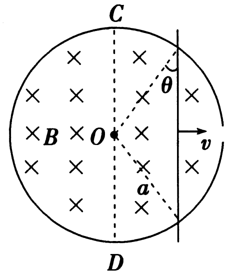


8.(2014·**高考全国卷Ⅱ**)半径分别为 r 和 $2r$ 的同心圆形导轨固定在同一水平面内,一长为 r,质量为 m 且质量分布均匀的直导体棒 AB 置于圆导轨上面,BA 的延长线通过圆导轨中心 O,装置的俯视图如图所示.整个装置位于一匀强磁场中,磁感应强度的大小为 B,方向竖直向下.在内圆导轨的 C 点和外圆导轨的 D 点之间接有一阻值为 R 的电阻(图中未画出).直导体棒在水平外力作用下以角速度 ω 绕 O 逆时针匀速转动,在转动过程中始终与导轨保持良好接触.设导体棒与导轨之间的动摩擦因数为 μ,导体棒和导轨的电阻均可忽略.重力加速度大小为 g.求:

(1)通过电阻 R 的感应电流的方向和大小;

(2)外力的功率.

9.(2016·郑州一模)半径为 a、右端开小口的导体圆环和长为 $2a$ 的导体直杆,单位长度电阻均为 R_0.圆环水平固定放置,整个内部区域分布着竖直向下的匀强磁场,磁感应强度为 B.杆在圆环上以速度 v 平行于直径 CD 向右做匀速直线运动,杆始终有两点与圆环良好接触,从圆环中心 O 开始,杆的位置由 θ 确定,如图所示.则　　(　　)



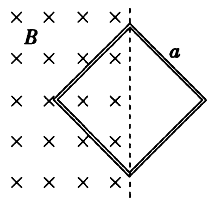
A. $\theta=0$ 时,杆产生的电动势为 $2Bav$

B. $\theta=\frac{\pi}{3}$ 时,杆产生的电动势为 $\sqrt{3}Bav$

C. $\theta=0$ 时,杆受的安培力大小为 $\frac{2B^2av}{(\pi+2)R_0}$

D. $\theta=\frac{\pi}{3}$ 时,杆受的安培力大小为 $\frac{2B^2av}{(5\pi+3)R_0}$

10.(2014·高考江苏卷)如图所示,一正方形线圈的匝数为 n,边长为 a,线圈平面与匀强磁场垂直,且一半处在磁场中.在 Δt 时间内,磁感应强度的方向不变,大小由 B 均匀地增大到 $2B$.在此过程中,线圈中产生的感应电动势为　　(　　)



A. $\frac{Ba^2}{2\Delta t}$　　B. $\frac{nBa^2}{2\Delta t}$

C. $\frac{nBa^2}{\Delta t}$　　D. $\frac{2nBa^2}{\Delta t}$

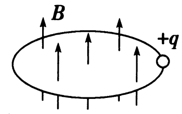
第十八讲 涡流、自感、电磁阻尼

内容导读

本讲主要针对涡流、自感和电磁阻尼的知识进行训练，这些知识也是高考经常命题的点.

典例剖析

【例 1】(2014・高考安徽卷)英国物理学家麦克斯韦认为，磁场变化时会在空间激发感生电场. 如图所示，一个半径为 r 的绝缘细圆环水平放置，环内存在竖直向上的匀强磁场 B，环上套一带电荷量为 $+q$ 的小球. 已知磁感应强度 B 随时间均匀增加，其变化率为 k，若小球在环上运动一周，则感生电场对小球的作用力所做功的大小是 ( )



A. 0

B. $\frac{1}{2}r^2qk$

C. $2\pi r^2qk$

D. πr^2qk

解析

[答案] D

[分析]

变化的磁场产生涡旋电场，涡旋电场进步一驱动圆环内的自由电子纷纷做定向移动形成旋涡状感生电流，这是麦克斯韦对法拉第电磁感应定律的补充.

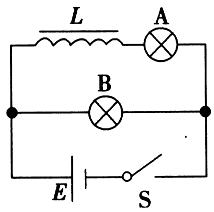
变化的磁场使回路中产生的感生电动势 $E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta B}{\Delta t}\cdot S=k\pi r^2$，则感生电场对小球的作用力所做的功 $W=qU=qE=qk\pi r^2$，选项 D 正确.

[小结]

1. 感生型：电源是线圈，电源的非静电力是由变化的磁场产生的涡旋电场力.

2. 动生型：电源是导体棒，电源的非静电力是沿着导体棒方向的洛伦兹力.

【例 2】(2015·深圳南山期末)如图所示,A、B 是相同的白炽灯,L 是自感系数很大、电阻可忽略的自感线圈.下面说法正确的是 ( )



A. 闭合开关 S 时,A、B 灯同时亮,且达到正常

B. 闭合开关 S 时,B 灯比 A 灯先亮,最后一样亮

C. 闭合开关 S 时,A 灯比 B 灯先亮,最后一样亮

D. 断开开关 S 时,A 灯与 B 灯同时慢慢熄灭

●解析

[答案] BD

[分析]

本题是自感现象,是自身电流变化引起的电磁感应.自感就是电流阻碍造成的延时效应.

由于自感的作用,闭合开关 S 时,B 灯比 A 灯先亮,最后一样亮,选项 A、C 错误,B 正确;断开开关 S 时,L 中产生自感电动势,A 灯与 B 灯同时慢慢熄灭,选项 D 正确.

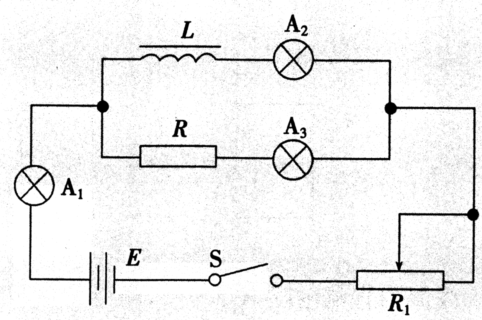
[小结]

在通电自感和断电自感中,自感线圈产生自感电动势,相当于新电源,自感电流与原电源形成的电流叠加,叠加时仍然遵守增反减同规律,即通电自感反向叠加,断电自感同向叠加.叠加在整个电路中无处不在,直至自感现象消失.

1. 通电自感的 $I-t$ 图象

如图所示电路,当电键 S 闭合的瞬间,由于电流的增加,自感线圈 L 发挥自感作用,产生自感电动势 E',阻碍电流的增加,所以自感电动势是反向的,自感线圈相当于一个新电源.设电源 E 和 E' 在灯泡 A_1、A_2、A_3(假设规格相同)所在的支路中形成的电流分别为 I_1、I_2、I_3 和 I'_1、I'_2、I'_3,其中 $I_1=I_2+I_3$,而 $I'_2=I'_1+I'_3$.

解析

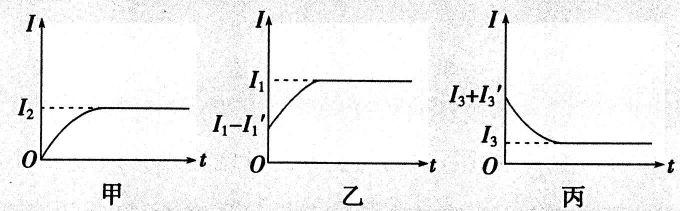


(1)灯泡 A_2 所在支路的电流由 0($I_2-I_2'=0$)逐渐增大的，并最终达到稳定值 I_2(自感现象消失时)，其 $I-t$ 图象如图甲所示；

(2)灯泡 A_1 所在支路的电流由 0 突变为 I_1-I_1'，接着逐渐增大，直至自感现象消失时达到稳定值 I_1，其 $I-t$ 图象如图乙所示；

(3)灯泡 A_3 所在支路的电流由 0 突变为 I_3+I_3'，接着逐渐减小，直至自感现象消失时达到稳定值 I_3，其 $I-t$ 图象如图丙所示；

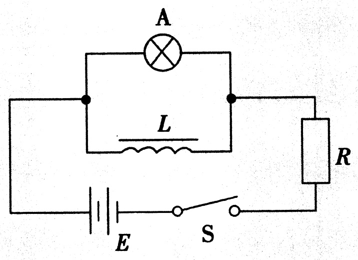
至于 I_2 和 I_3 哪个更大一些，这完全取决于两并联支路电阻的大小，若自感线圈的直流电阻 $R_L>R$，则 $I_2<I_3$；若 $R_L<R$，则 $I_2>I_3$。



2. 断电自感的 $I-t$ 图象

如图所示电路，当电键 S 断开时，电源 E 在电阻 R、灯泡 A 和线圈 L 中形成的电流统统突变为 0；而自感线圈 L 发挥自感作用，产生自感电动势 E'，阻碍原电流的减少，所以自感电动势产生的自感电流 I_L' 与线圈 L 中的原电流 I_L 是同向的，线圈 L 将在自感电流 I_L'($I_L'=I_L$)的基础上逐渐衰减，以至于减小到 0；灯泡 A 和自感线圈 L 自成闭合回路，其电流方向将与原电流 I_A 方向相反，大小将在自感电流 I_L' 的基础上逐渐衰减到 0.

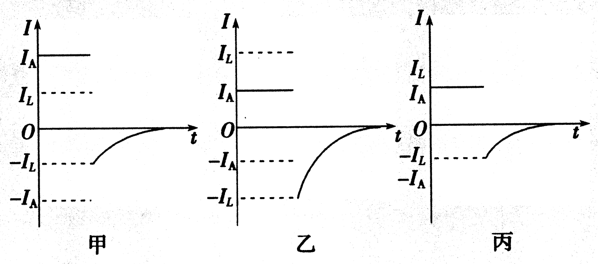
●解析



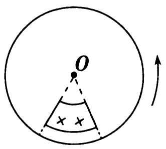
(1)如果自感线圈的直流电阻 $R_L > R_A$，则灯泡的原电流 I_A 大于线圈的自感电流 I_L'，灯泡突然暗一下，然后逐渐熄灭，其 $I-t$ 图象如图甲所示；

(2)如果自感线圈的直流电阻 $R_L < R_A$，则灯泡的原电流 I_A 小于线圈的自感电流 I_L'，灯泡突然亮一下，然后逐渐熄灭，其 $I-t$ 图象如图乙所示；

(3)如果自感线圈的直流电阻 $R_L = R_A$，则灯泡的原电流 I_A 等于线圈的自感电流 I_L'，灯泡在原来亮度的基础上逐渐熄灭，其 $I-t$ 图象如图丙所示.



【例 3】(2015·高考山东卷)如图，一均匀金属圆盘绕通过其圆心且与盘面垂直的轴逆时针匀速转动. 现施加一垂直穿过圆盘的有界匀强磁场，圆盘开始减速. 在圆盘减速过程中，以下说法正确的是 (　　)



A. 处于磁场中的圆盘部分，靠近圆心处电势高

B. 所加磁场越强越易使圆盘停止转动

C. 若所加磁场反向，圆盘将加速转动

D. 若所加磁场穿过整个圆盘，圆盘将匀速转动

解析

[答案] ABD

[分析]

本题是电磁阻尼现象,电磁阻尼首先是电磁感应,其次是感应电流受到磁场的阻力.

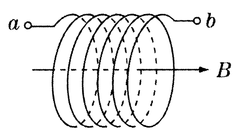
根据右手定则可判断靠近圆心处电势高,选项A正确;圆盘处在磁场中的部分转动切割磁感线,相当于电源,其他部分相当于外电路,根据左手定则,圆盘所受安培力与运动方向相反,磁场越强,安培力越大,故所加磁场越强越易使圆盘停止转动,选项B正确;磁场反向,安培力仍阻碍圆盘转动,选项C错误;若所加磁场穿过整个圆盘,整个圆盘相当于电源,不存在外电路,没有电流,所以圆盘不受安培力而匀速转动,选项D正确.

[小结]

1. 涡流:感应电流在大块金属导体里呈旋涡状循环流动,故名涡流.
2. 电磁阻尼:导体棒切割磁感线产生感应电流,感应电流又受原磁场的安培力,棒的速度方向与安培力必然反向,安培力是阻力.
3. 电磁驱动:原来静止在磁场中的导体棒,如果有电流流过,导体棒便在安培力的作用下运动起来.安培力是动力.

章节练习

1.(2015·高考重庆卷)如图为无线充电技术中使用的受电线圈示意图,线圈匝数为 n,面积为 S.若在 t_1 到 t_2 时间内,匀强磁场平行于线圈轴线向右穿过线圈,其磁感应强度大小由 B_1 均匀增加到 B_2,则该段时间线圈两端 a 和 b 之间的电势差 $\varphi_a-\varphi_b$ ( )



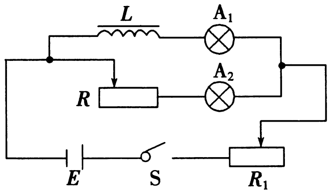
A. 恒为$\dfrac{nS(B_2-B_1)}{t_2-t_1}$

B. 从0均匀变化到$\dfrac{nS(B_2-B_1)}{t_2-t_1}$

C. 恒为$-\dfrac{nS(B_2-B_1)}{t_2-t_1}$

D. 从0均匀变化到$-\dfrac{nS(B_2-B_1)}{t_2-t_1}$

2.(2016·苏州高三调研)如图所示是研究通电自感实验的电路图，A_1、A_2是两个规格相同的小灯泡，闭合开关调节电阻R，使两灯泡的亮度相同. 调节可变电阻R_1，使它们都正常发光，然后断开开关S. 重新闭合开关S，则 ( )



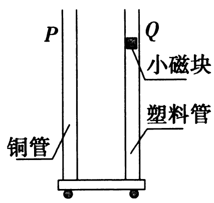
A. 闭合瞬间，A_1立刻变亮，A_2逐渐变亮

B. 闭合瞬间，A_2立刻变亮，A_1逐渐变亮

C. 稳定后，L和R两端电势差一定相同

D. 稳定后，A_1和A_2两端电势差不相同

3.(2014·高考广东卷)如图所示，上下开口、内壁光滑的铜管P和塑料管Q竖直放置，小磁块先后在两管中从相同高度处由静止释放，并落至底部，则小磁块 ( )



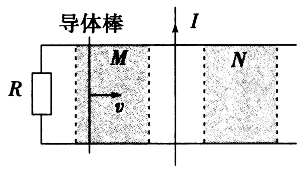
A. 在P和Q中都做自由落体运动

B. 在两个下落过程中的机械能都守恒

C. 在P中的下落时间比在Q中的长

D. 落至底部时在P中的速度比在Q中的大

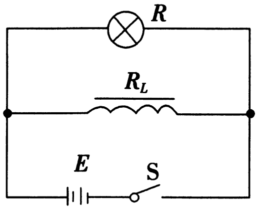
4.(2014·高考山东卷)如图，一端接有定值电阻的平行金属轨道固定在水平面内，通有恒定电流的长直绝缘导线垂直并紧靠轨道固定，导体棒与轨道垂直且接触良好. 在向右匀速通过M、N两区的过程中，导体棒所受安培力分别用F_M、F_N表示. 不计轨道电阻. 以下叙述正确的是 ( )



A. F_M向右　　B. F_N向左

C. F_M逐渐增大　　D. F_N逐渐减小

5.(2016·广州五校联考)如图所示是用于观察自感现象的电路,设线圈的自感系数较大,线圈的直流电阻 R_L 与小灯泡的电阻 R 满足 $R_L<R$. 则在开关 S 断开瞬间,可以观察到 ( )



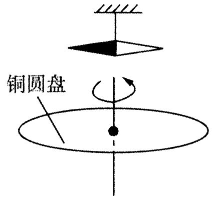
A. 灯泡立即熄灭

B. 灯泡逐渐熄灭,不会闪亮

C. 灯泡有明显的闪亮现象

D. 灯泡会逐渐熄灭,但不一定有闪亮现象

6.(2015·高考全国卷Ⅰ)1824 年,法国科学家阿拉果完成了著名的"圆盘实验". 实验中将一铜圆盘水平放置,在其中心正上方用柔软细线悬挂一枚可以自由旋转的磁针,如图所示. 实验中发现,当圆盘在磁针的磁场中绕过圆盘中心的竖直轴旋转时,磁针也随着一起转动起来,但略有滞后. 下列说法正确的是 ( )



A. 圆盘上产生了感应电动势

B. 圆盘内的涡电流产生的磁场导致磁针转动

C. 在圆盘转动的过程中,磁针的磁场穿过整个圆盘的磁通量发生了变化

D. 圆盘中的自由电子随圆盘一起运动形成电流,此电流产生的磁场导致磁针转动

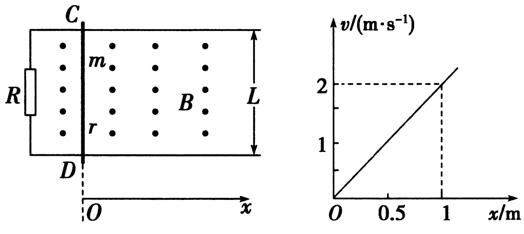
第十九讲 电磁感应力、电、能综合问题

内容导读

电磁感应问题往往是综合问题，因为电磁感应要产生电流，因此首先是电路问题，其次要受安培力等力的作用，是力学问题，最后是能量转化问题，机械能向电能转化，最后向电热转化.

典例剖析

【例 1】(2016·山东淄博诊断)如图甲所示，左侧接有定值电阻 $R=2\ \Omega$ 的水平粗糙导轨处于垂直纸面向外的匀强磁场中，磁感应强度 $B=1$ T，导轨间距 $L=1$ m. 一质量 $m=2$ kg，阻值 $r=2\ \Omega$ 的金属棒在水平拉力 F 作用下由静止开始从 CD 处沿导轨向右加速运动，金属棒的 $v-x$ 图象如图乙所示，若金属棒与导轨间动摩擦因数 $\mu=0.25$，则从起点发生 $x=1$ m 位移的过程中($g=10\ m/s^2$)　　(　　)



甲　　　乙

A. 金属棒克服安培力做的功 $W_1=0.5$ J

B. 金属棒克服摩擦力做的功 $W_2=4$ J

C. 整个系统产生的总热量 $Q=4.25$ J

D. 拉力做的功 $W=9.25$ J

●解析

[答案] D

[分析]

该例属于电磁感应的能量问题，其中内能的变化一分为二，既有摩擦生热，又有电热，要区别对待.

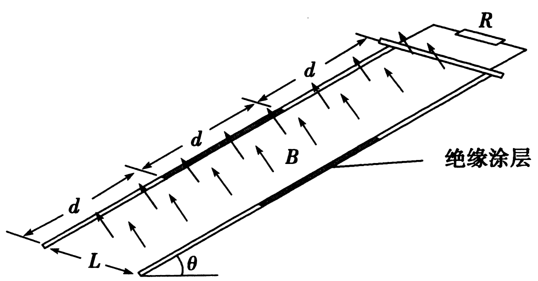
●解析

金属棒克服安培力做功为 $W_1=B\dfrac{BL\bar{v}}{R+r}L\cdot x=\dfrac{B^2L^2}{R+r}\bar{v}x$，由图可知 $\bar{v}x=1$，解得 $W_1=0.25$ J，选项 A 错误；金属棒克服摩擦力做的功 $W_2=\mu mgx=0.25\times20\times1$ J $=5$ J，选项 B 错误；整个系统产生的总热量 $Q=W_1+W_2=5.25$ J，选项 C 错误；根据动能定理可得，拉力做的功 $W_F=W_1+W_2+\dfrac{1}{2}mv^2=9.25$ J，选项 D 正确.

[小结]

1. 感生型：磁场能转化为电场能，又转化为电源的电能，最后又把电能转化为电热等其他形式的能量.
2. 感生型：安培力做负功，使机械能减少，转化为电源的电能，最后又把电能转化为电热等其他形式的能量. 因此，安培力所做的负功，等于机械能的减少量，也等于产生的电热. 要彻底弄清能量的转化，就要从动生型非静电力入手.
3. 如果有摩擦力的参与，则机械能的减少，一方面转化为电热，另一方面转化为摩擦生热.

【例 2】(2014 · 高考江苏卷) 如图所示，在匀强磁场中有一倾斜的平行金属导轨，导轨间距为 L，长为 $3d$，导轨平面与水平面的夹角为 θ，在导轨的中部刷有一段长为 d 的薄绝缘涂层. 匀强磁场的磁感应强度大小为 B，方向与导轨平面垂直. 质量为 m 的导体棒从导轨的顶端由静止释放，在滑上涂层之前已经做匀速运动，并一直匀速滑到导轨底端. 导体棒始终与导轨垂直，且仅与涂层间有摩擦，接在两导轨间的电阻为 R，其他部分的电阻均不计，重力加速度为 g. 求：



(1) 导体棒与涂层间的动摩擦因数 μ；

(2) 导体棒匀速运动的速度大小 v；

(3) 整个运动过程中，电阻产生的焦耳热 Q.

●解析

[答案] (1)$\tan\theta$ (2)$\frac{mgR\sin\theta}{B^2L^2}$ (3)$2mgd\sin\theta-\frac{m^3g^2R^2\sin^2\theta}{2B^4L^4}$

[分析]

该例是电磁感应力和能的综合问题,受力分析和能量守恒定律是解决此类问题的锦囊妙计.

(1)在绝缘涂层上,受力平衡 $mg\sin\theta=\mu mg\cos\theta$

解得 $\mu=\tan\theta$.

(2)在光滑导轨上,感应电动势 $E=BLv$

感应电流 $I=\frac{E}{R}$

安培力 $F_安=BIL$

受力平衡 $F_安=mg\sin\theta$

解得 $v=\frac{mgR\sin\theta}{B^2L^2}$.

(3)摩擦生热 $Q_摩=\mu mgd\cos\theta$

由能量守恒定律得 $3mgd\sin\theta=Q+Q_摩+\frac{1}{2}mv^2$

解得 $Q=2mgd\sin\theta-\frac{m^3g^2R^2\sin^2\theta}{2B^4L^4}$.

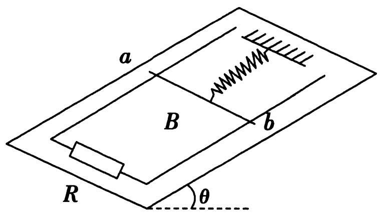
[小结]

1. 对导体棒进行受力分析,一方面导体棒要受到其他力,同时要受到安培力,安培力的方向用左手定则判断,大小可用二级结论 $F=\frac{B^2l^2}{R+r}v$ 计算.

2. $q=n\frac{\Delta\Phi}{R+r}$是计算干路电量的二级结论,支路电量要根据并联分流原理进一步分配.

章节练习

1.(2016·保定高三调研)如图所示,在倾角为 30°的斜面上固定一电阻不计的光滑平行金属导轨,其间距为 L,下端接有阻值为 R 的电阻,导轨处于匀强磁场中,磁感应强度大小为 B,方向与斜面垂直(图中未画出).质量为 m、阻值大小也为 R 的金属棒 ab 与固定在斜面上方的劲度系数为 k 的绝缘弹簧相接,弹簧处于原长并被锁定.现解除锁定的同时使金属棒获得沿斜面向下的速度 v_0,从开始运动到停止运动的过程中金属棒始终与导轨垂直并保持良好接触,弹簧始终在弹性限度内,重力加速度为 g,在上述过程中 ( )



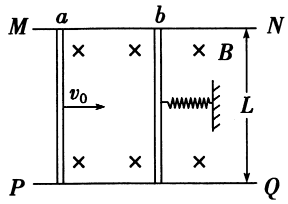
A. 开始运动时金属棒与导轨接触点间电压为$\frac{BLv_0}{2}$

B. 通过电阻 R 的最大电流一定是$\frac{BLv_0}{2R}$

C. 通过电阻 R 的总电荷量为$\frac{mgBL}{4kR}$

D. 回路产生的总热量小于$\frac{1}{2}mv_0^2+\frac{m^2g^2}{4k}$

2.(2016·山东德州二模)如图所示,在水平面上有两条光滑的长直平行金属导轨 MN、PQ,电阻忽略不计,导轨间距离为 L,电磁感应强度为 B 的匀强磁场垂直于导轨所在平面.质量均为 m 的两根金属杆 a、b 放置在导轨上,a、b 接入电路的电阻均为 R.轻质弹簧的左端与 b 杆连接,右端固定.开始时 a 杆以初速度 v_0 向静止的 b 杆运动,当 a 杆向右的速度为 v 时,b 杆向右的速度达到最大值 v_m,此过程中 a 杆产生的焦耳热为 Q,两杆始终垂直于导轨并与导轨接触良好,则 b 杆达到最大速度时 ( )



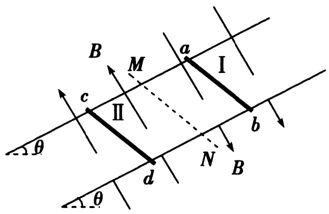
A. b 杆受到弹簧的弹力为$\dfrac{B^2L^2(v-v_m)}{2R}$

B. a 杆受到的安培力为$\dfrac{B^2L^2(v-v_m)}{R}$

C. a、b 杆与弹簧组成的系统机械能减少量为 Q

D. 弹簧具有的弹性势能为$\dfrac{1}{2}mv_0^2-\dfrac{1}{2}mv^2-\dfrac{1}{2}mv_m^2-2Q$

3.(2014·高考天津卷)如图所示,两根足够长的平行金属导轨固定在倾角$\theta=30°$的斜面上,导轨电阻不计,间距 $L=0.4$ m. 导轨所在空间被分成区域Ⅰ和Ⅱ,两区域的边界与斜面的交线为 MN,Ⅰ中的匀强磁场方向垂直斜面向下,Ⅱ中的匀强磁场方向垂直斜面向上,两磁场的磁感应强度大小均为 $B=0.5$ T. 在区域Ⅰ中,将质量 $m_1=0.1$ kg,电阻 $R_1=0.1$ Ω 的金属条 ab 放在导轨上,ab 刚好不下滑. 然后,在区域Ⅱ中将质量 $m_2=0.4$ kg,电阻 $R_2=0.1$ Ω 的光滑导体棒 cd 置于导轨上,由静止开始下滑. cd 在滑动过程中始终处于区域Ⅱ的磁场中,ab、cd 始终与导轨垂直且两端与导轨保持良好接触,取 $g=10$ m/s². 问:

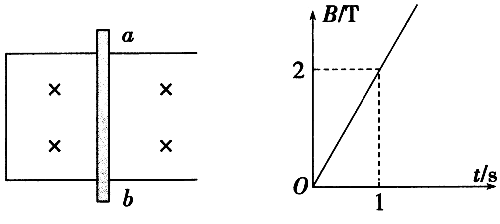


(1) cd 下滑的过程中,ab 中的电流方向;

(2) ab 刚要向上滑动时,cd 的速度 v 多大;

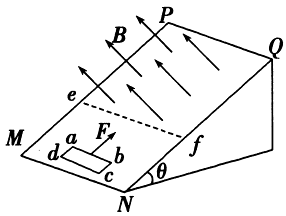
(3)从 cd 开始下滑到 ab 刚要向上滑动的过程中,cd 滑动的距离 $x=3.8$ m,此过程中 ab 上产生的热量 Q 是多少.

4.(2016·天津模拟)如图甲所示,光滑导轨宽 0.4 m,ab 为金属棒,均匀变化的磁场垂直穿过轨道平面,磁场的变化情况如图乙所示,金属棒 ab 的电阻为 1 Ω,导轨电阻不计. $t=0$ 时刻,ab 棒从导轨最左端,以 $v=1$ m/s 的速度向右匀速运动,求 1 s 末回路中的感应电流及金属棒 ab 受到的安培力.



甲　　　　　　乙

5.(2016·河北正定中学检测)如图所示,光滑斜面 $PMNQ$ 的倾角为 θ,斜面上放置一矩形导体线框 $abcd$,其中 ab 边长为 l_1,bc 边长为 l_2,线框质量为 m、电阻为 R,有界匀强磁场的磁感应强度为 B,方向垂直于斜面向上,ef 为磁场的边界,且 $ef /\!/ MN$. 线框在恒力 F 作用下从静止开始运动,其 ab 边始终保持与底边 MN 平行,F 沿斜面向上且与斜面平行. 已知线框刚进入磁场时做匀速运动,则下列判断正确的是　　(　　)



A. 线框进入磁场时的速度为 $\dfrac{(F-mg\sin\theta)R}{B^2 l_1^2}$

B. 线框进入磁场前的加速度为 $\dfrac{F+mg\sin\theta}{m}$

C. 线框进入磁场的过程中产生的热量为 $\dfrac{(F-mg\sin\theta)}{l_1}$

D. 线框进入磁场时有 $a\to b\to c\to d$ 方向的感应电流

6.(2014·高考安徽卷)如图1所示,匀强磁场的磁感应强度 B 为 0.5 T,其方向垂直于倾角 θ 为 30°的斜面向上.绝缘斜面上固定有"∧"形状的光滑金属导轨 MPN(电阻忽略不计),MP 和 NP 长度均为 2.5 m,MN 连线水平,长为3 m.以 MN 中点 O 为原点,OP 为 x 轴建立一维坐标系 Ox.一根粗细均匀的金属杆 CD,长度 d 为 3 m、质量 m 为 1 kg、电阻 R 为 0.3 Ω,在拉力 F 的作用下,从 MN 处以恒定速度 $v=1$ m/s 在导轨上沿 x 轴正向运动(金属杆与导轨接触良好).g 取 10 m/s^2.

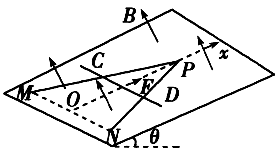


图1

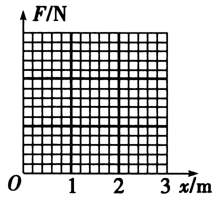


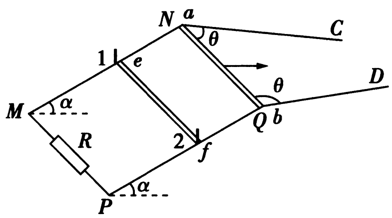
图2

(1)求金属杆 CD 运动过程中产生的感应电动势 E 及运动到 $x=0.8$ m 处电势差 U_{CD};

(2)推导金属杆 CD 从 MN 处运动到 P 点过程中拉力 F 与位置坐标 x 的关系式,并在图2中画出 $F-x$ 关系图象;

(3)求金属杆 CD 从 MN 处运动到 P 点的全过程产生的焦耳热.

7.(2015·高考四川卷)如图所示,金属导轨 MNC 和 PQD,MN 与 PQ 平行且间距为 L,所在平面与水平面夹角为 α,N、Q 连线与 MN 垂直,M、P 间接有阻值为 R 的电阻;光滑直导轨 NC 和 QD 在同一水平面内,与 NQ 的夹角都为锐角 θ. 均匀金属棒 ab 和 ef 质量均为 m,长均为 L,ab 棒初始位置在水平导轨上与 NQ 重合;ef 棒垂直放在倾斜导轨上,与导轨间的动摩擦因数为 μ(μ 较小),由导轨上的小立柱 1 和 2 阻挡而静止. 空间有方向竖直的匀强磁场(图中未画出). 两金属棒与导轨保持良好接触,不计所有导轨和 ab 棒的电阻,ef 棒的阻值为 R,最大静摩擦力与滑动摩擦力大小相等,忽略感应电流产生的磁场,重力加速度为 g.



(1)若磁感应强度大小为 B,给 ab 棒一个垂直于 NQ,水平向右的速度 v_1,在水平导轨上沿运动方向滑行一段距离后停止,ef 棒始终静止,求此过程 ef 棒上产生的热量;

(2)在(1)问过程中,ab 棒滑行距离为 d,求通过 ab 棒某横截面的电量;

(3)若 ab 棒以垂直于 NQ 的速度 v_2 在水平导轨上向右匀速运动,并在 NQ 位置时取走小立柱 1 和 2,且运动过程中 ef 棒始终静止. 求此状态下最强磁场的磁感应强度及此磁场下 ab 棒运动的最大距离.

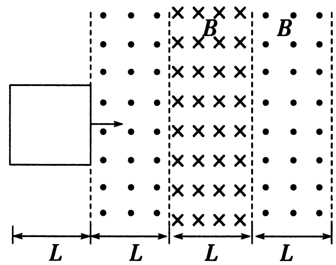
第二十讲　电磁感应的图象问题

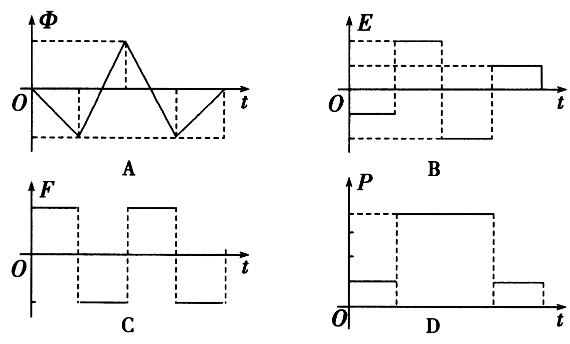
内容导读

电磁感应的图象粗略可分为两类，一类是分时段讨论的，另一类是根据情景导出式子，进而选择的.

典例剖析

【例 1】(2016·山师大附中模拟)如图所示为三个有界匀强磁场，磁感应强度大小均为 B，方向分别垂直纸面向外、向里和向外，磁场宽度均为 L，在磁场区域的左侧边界处，有一边长为 L 的正方形导体线框，总电阻为 R，且线框平面与磁场方向垂直，现用外力 F 使线框以速度 v 匀速穿过磁场区域，以初始位置为计时起点，规定电流沿逆时针方向时的电动势 E 为正，磁感线垂直纸面向里时的磁通量 Φ 为正值，外力 F 向右为正. 则以下能反映线框中的磁通量 Φ、感应电动势 E、外力 F 和电功率 P 随时间变化规律图象的是　（　　）





●解析

[答案] ABD

[分析]

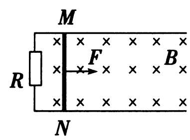
该例是典型的电磁感应图象问题,分段讨论,对比筛选是解决此类问题的方法.

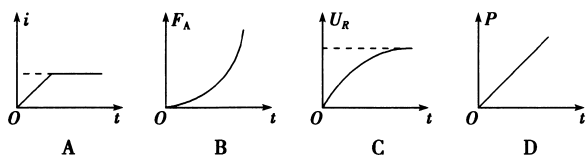
当线框开始进入磁场时,磁通量开始增加,当全部进入时达最大;此后向内的磁通量增加,总磁通量减小;当运动到 1.5L 时,磁通量最小,当运动到 2L 时磁通量变为向里的最大,选项 A 正确;当线圈进入第一个磁场时,由 $E=BLv$ 可知,E 保持不变,感应电流的方向为顺时针方向;而开始进入第二个磁场时,两端同时切割磁感线,电动势应为 $2BLv$,感应电流方向为逆时针方向为正值,选项 B 正确;因安培力总是与运动方向相反,故拉力应一直向右,选项 C 错误;拉力的功率 $P=Fv$,因速度不变,而在线框在第一个磁场时,电流为定值,拉力也为定值;两边分别在两个磁场中时,$F_{安}=2B\cdot\dfrac{2BLv}{R}L=4\dfrac{B^2L^2v}{R}$,因此安培力变为原来的 4 倍,则拉力的功率变为原来的 4 倍,选项 D 正确.

[小结]

电磁感应的图象是分段函数时,应结合楞次定律(或右手定则)和法拉第电磁感应定律分段讨论,边讨论边对比排除.同时要注意细节上的差异,细节决定成败.

【例 2】(2016·高考四川卷)如图所示,电阻不计、间距为 l 的光滑平行金属导轨水平放置于磁感应强度为 B、方向竖直向下的匀强磁场中,导轨左端接一定值电阻 R.质量为 m、电阻为 r 的金属棒 MN 置于导轨上,受到垂直于金属棒的水平外力 F 的作用由静止开始运动,外力 F 与金属棒速度 v 的关系是 $F=F_0+kv$(F_0、k 是常量),金属棒与导轨始终垂直且接触良好.金属棒中感应电流为 i,受到的安培力大小为 F_A,电阻 R 两端的电压为 U_R,感应电流的功率为 P,它们随时间 t 变化图象可能正确的有 ( )





●解析

［答案］ BC

［分析］

分情况讨论可能的物理情景，数形结合法是解决此类问题的方法.

设金属棒在某一时刻速度为 v，由题意可知，感应电动势 $E=Blv$，回路电流 $I=\frac{E}{R+r}=\frac{Bl}{R+r}v$，即 $I\propto v$；安培力 $F_A=BIl=\frac{B^2l^2}{R+r}v$，方向水平向左，即 $F_A\propto v$；R 两端电压 $U_R=IR=\frac{BlR}{R+r}v$，即 $U_R\propto v$；感应电流功率 $P=EI=\frac{B^2l^2}{R+r}v^2$，即 $P\propto v^2$. 分析金属棒运动情况，由牛顿运动第二定律可得 $F_0+kv-\frac{B^2l^2}{R+r}v=ma$，即 $F_0+(k-\frac{B^2l^2}{R+r})v=ma$. 因为金属棒从静止出发，所以 $F_0>0$.

(1)若 $k=\frac{B^2l^2}{R+r}$，金属棒水平向右做匀加速直线运动. 所以在此情况下没有选项符合；

(2)若 $k>\frac{B^2l^2}{R+r}$，$F_合$ 随 v 增大而增大，即 a 随 v 增大而增大，说明金属棒在做加速度增大的加速运动，根据四个物理量与速度的关系可知 B 选项符合；

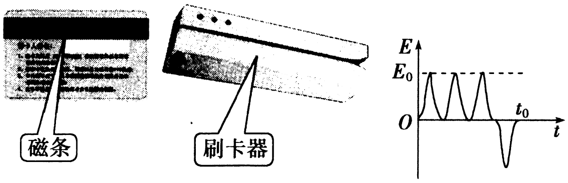
(3)若 $k<\frac{B^2l^2}{R+r}$，$F_合$ 随 v 增大而减小，即 a 随 v 增大而减小，说明金属棒在做加速度减小的加速运动，直到加速度减小为 0 后金属棒做匀速直线运动，根据四个物理量与速度关系可知 C 选项符合. 综上所述，选项 B、C 符合题意.

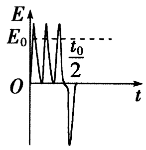
［小结］

当遇到无法直接进行判断的电磁感应图象问题时，首先要根据力学或者能量的规律列式，向图象靠拢，然后根据函数与图象的关系，分情况进行讨论并作出选择.

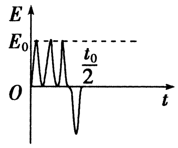
章节练习

1.(2013·高考浙江卷)磁卡的磁条中有用于存储信息的磁极方向不同的磁化区，刷卡器中有检测线圈，当以速度 v_0 刷卡时，在线圈中产生感应电动势. 其 $E-t$ 关系如图所示. 如果只将刷卡速度改为$\frac{v_0}{2}$，线圈中的 $E-t$ 关系图可能是 ( )

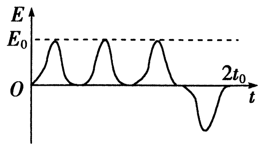




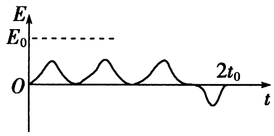
A



B

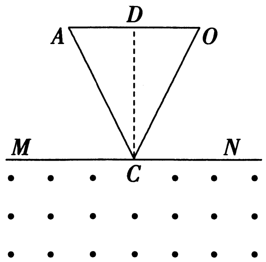


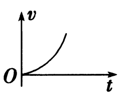
C



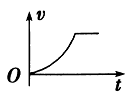
D

2.(2015·上饶二模)在如图所示的竖直平面内，在水平线 MN 的下方有足够大的匀强磁场，一个等腰三角形金属线框顶点 C 与 MN 重合，线框由静止释放，沿轴线 DC 方向竖直落入磁场中. 忽略空气阻力，从释放到线框完全进入磁场的过程中，关于线框运动的 $v-t$ 图象，可能正确的是 ( )

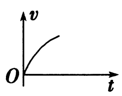




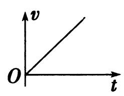
A



B

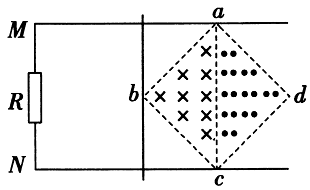


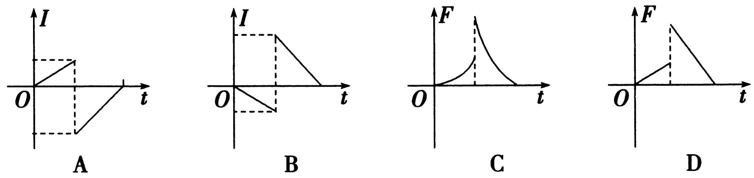
C



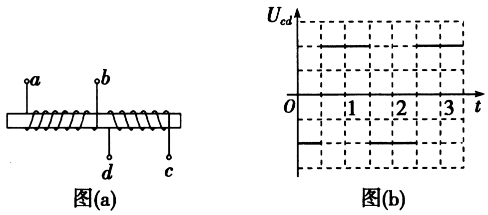
D

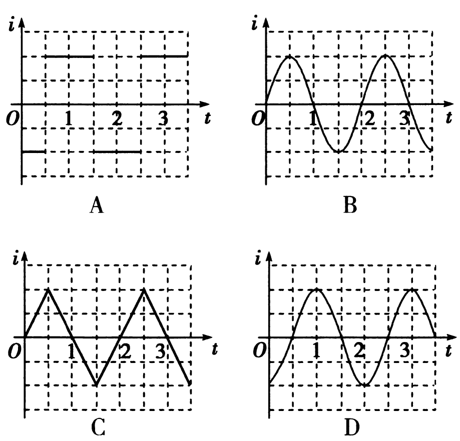
3.(2015·山东第一次大联考)如图所示,导体棒沿两平行导轨从图中位置以速度 v 向右匀速通过一正方形 $abcd$ 磁场区域,ac 垂直于导轨且平行于导体棒,ac 右侧的磁感应强度是左侧的 2 倍且方向相反,导轨和导体棒的电阻均不计,下列关于导体棒中感应电流和所受安培力随时间变化的图象正确的是(规定电流由 M 经 R 到 N 为正方向,安培力向左为正方向) ( )



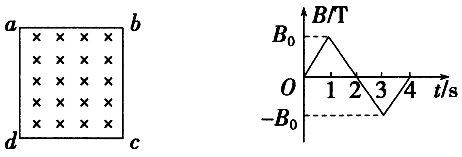


4.(2014·高考全国卷Ⅰ)如图(a),线圈 ab、cd 绕在同一软铁芯上,在 ab 线圈中通以变化的电流,用示波器测得线圈 cd 间电压如图(b)所示.已知线圈内部的磁场与流经线圈的电流成正比,则下列描述线圈 ab 中电流随时间变化关系的图中,可能正确的是 ( )

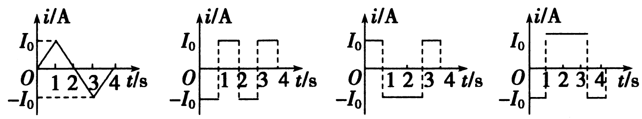




5.(2016·山东文登期末)如图甲所示,矩形导线框 $abcd$ 固定在匀强磁场中,磁感线的方向与导线框所在平面垂直.规定磁场的正方向垂直于纸面向里,磁感应强度 B 随时间 t 变化的规律如图乙所示.则下列 $i-t$ 图象中可能正确的是 ( )

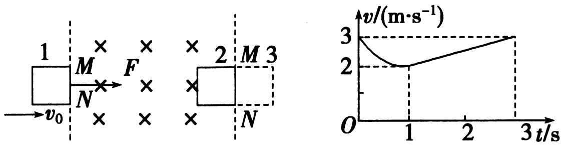


甲　　　　乙



A　　B　　C　　D

6.(2016·兰州一中期中)如图(a)所示,在光滑水平面上用恒力 F 拉质量为 1 kg 的单匝均匀正方形铜线框,在 1 位置以速度 $v_0=3$ m/s 进入匀强磁场时开始计时 $t=0$,此时线框中感应电动势为 1 V,在 $t=3$ s 时刻线框到达 2 位置并开始离开匀强磁场.此过程中线框的 $v-t$ 图象如图(b)所示,那么 ( )



(a)　　(b)

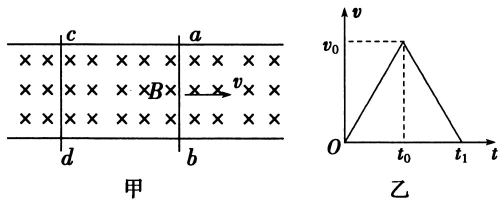
A.恒力 F 的大小为 1.0 N

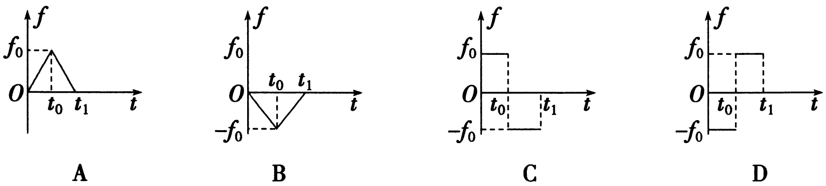
B.$t=0$ 时,线框右侧的边两端 M、N 间电压为 0.75 V

C.线框完全离开磁场的位置 3 的瞬时速度为 2 m/s

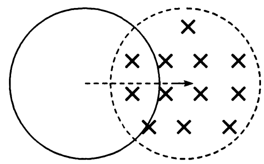
D.线框完全离开磁场的位置 3 的瞬时速度为 1 m/s

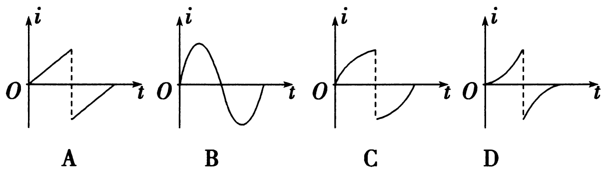
7.(2016·黄冈测试)如图甲所示,固定的水平金属导轨足够长且电阻不计.两阻值相同的导体棒 ab、cd 置于导轨上,导体棒与导轨垂直且始终保持良好接触.整个装置处在与导轨平面垂直向下的匀强磁场 B 中.现让导体棒 ab 以如图乙所示的速度向右运动.导体棒 cd 始终静止在导轨上,以水平向右为正方向,则导体棒 cd 所受的静摩擦力 f 随时间变化的图象是选项中的 ( )



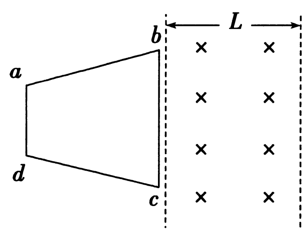


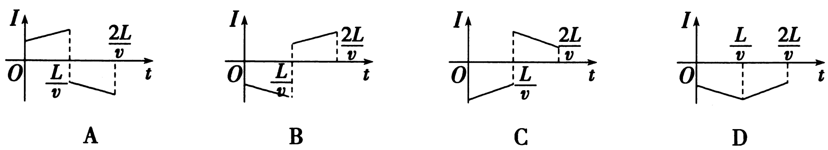
8.(2016·河北正定中学月考)如图所示,半径为 R 的导线环对心、匀速穿过半径也为 R 的匀强磁场区域,关于导线环中的感应电流随时间的变化关系,下列图象中(以逆时针方向的电流为正)最符合实际的是 ( )





9.(2016·九江月考)如图所示,两条平行虚线之间存在匀强磁场,虚线间的距离为 L,磁场方向垂直纸面向里. $abcd$ 是位于纸面内的梯形线圈,ad 与 bc 间的距离为 L,$t=0$ 时刻,bc 边与磁场区域边界重合. 现令线圈以恒定速度 v 沿垂直于磁场区域边界的方向穿过磁场区域,取 $a\to b\to c\to d\to a$ 的感应电流为正,则在线圈穿越磁场区域的过程中,感应电流 I 随时间 t 变化的图线可能是下图中的 ( )





选修 3-2　交流电

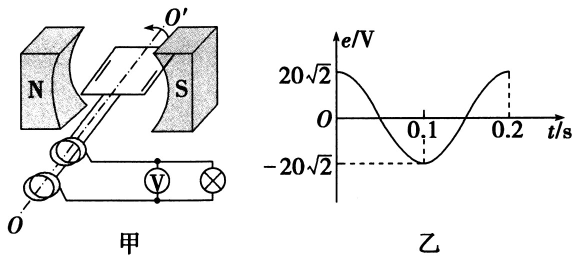
第二十一讲　交流电的产生与描述

内容导读

本讲主要讲授正弦式交流电的产生、有效值的计算和交流电的四值的不同用途.

典例剖析

【例 1】(2016·烟台模拟)在匀强磁场中,一矩形金属线框绕与磁感线垂直的转轴匀速转动,如图甲所示,产生的交变电动势随时间变化规律的图象如图乙所示,已知发电机线圈内阻为 1.0 Ω,外接一只电阻为 9.0 Ω 的灯泡,则　　(　　)



甲　　　　乙

A. 电压表 V 的示数为 20 V

B. 电路中的电流方向每秒改变 5 次

C. 灯泡实际消耗的功率为 36 W

D. 电动势随时间变化的瞬时值表达式为 $e=20\cos 5\pi t$(V)

● 解析

[答案]　C

[分析]

该例考查正弦式交流电的产生和描述,当线圈初位置在与中性面垂直的位置时,瞬时值的表达式是余弦形式.

●解析

根据乙图可知，交变电流的周期 $T=0.2\ \text{s}$，频率 $f=5\ \text{Hz}$，所以电路中的电流方向每秒改变10次，选项B错误；电动势随时间变化的瞬时值表达式为 $e=20\sqrt{2}\cos 10\pi t\ \text{V}$，选项D错误；由乙图知，最大感应电动势为 $E_m=20\sqrt{2}\ \text{V}$，则电动势的有效值为 $E=\frac{E_m}{\sqrt{2}}=20\ \text{V}$，$I=\frac{E}{r+R}=\frac{20}{1+9}\ \text{A}=2\ \text{A}$，电压表的示数为灯泡两端电压 $U=IR=2\times 9\ \text{V}=18\ \text{V}$，选项A错误；灯泡的实际功率为 $P=I^2R=36\ \text{W}$，选项C正确.

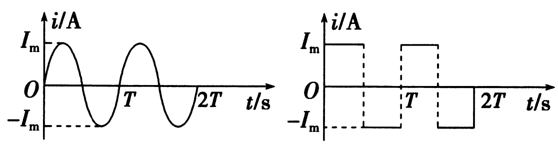
［小结］

1. 正弦式交流电的产生：当矩形线圈在匀强磁场中做切割磁感线运动时，便产生了正弦式交流电.其瞬时值是按照正弦或余弦规律变化的.
2. 中性面：与磁感线垂直的平面.

(1)线圈从中性面位置开始计时，瞬时值就是正弦规律变化的，从与中性面垂直的位置开始计时，瞬时值就是余弦规律变化的.

(2)线圈在中性面位置，磁通量最大，电动势和电流的瞬时值为零，交流电的方向发生变化.

【例2】(2016·临沂一中月考)如图所示，正弦波和方波交变电流的最大值相等，周期也相等，现给它们接入完全相同的电阻，则在相同的时间(远大于周期)内，两电阻发热之比 $Q_甲:Q_乙$ 等于 (　　)



甲　　　　乙

A. $\frac{1}{\sqrt{2}}$

B. $\frac{1}{2}$

C. $\frac{1}{4}$

D. $\frac{1}{1}$

● 解析

［答案］ B

［分析］

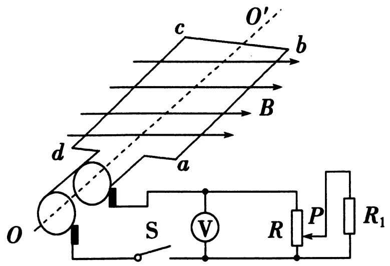
有效值就是交流电在产生电热方面与直流电没有差别的那个数值. 交流电有效值一定要根据其定义，按一个周期内产生的热量计算.

在甲图中，电流的有效值为$\frac{I_m}{\sqrt{2}}$，在乙图中，电流的有效值为I_m. 由公式$Q=I^2Rt$知，相等时间内产生的热量之比为1∶2，选项B正确.

［小结］

1. 有效值：让直流和交流通过阻值相等的电阻，如果在相等的时间内产生的热量相等，则把直流电这一数值叫做交流电的有效值. 有效值是根据电流的热效应定义的，定义时运用了等效法. 有效值用直流电的字母表示，即大写表示. 当线圈位置与中性面之间的夹角为45°时，交流电取有效值. 各种电表记录的都是交流电的有效值.
2. 非正弦式交流电有效值的计算：要根据一个周期内产生的焦耳热计算.

【例3】(2016 · 衡水中学期中)如图所示为小型旋转电枢式交流发电机，电阻$r=1\ \Omega$的矩形线圈在磁感应强度为B的匀强磁场中，绕垂直于磁场方向的固定轴OO'匀速转动，线圈的两端经集流环和电刷与电路连接，滑动变阻器R的最大阻值为6 Ω，滑动片P位于滑动变阻器距下端$\frac{1}{3}$处，定值电阻$R_1=2\ \Omega$，其他电阻不计，线圈匀速转动的周期$T=0.02$ s. 闭合开关S，从线圈平面与磁场方向平行时开始计时，线圈转动过程中理想电压表示数是5 V. 下列说法正确的是 （ ）



A. 电阻R_1消耗的功率为$\frac{2}{3}$ W

B. 0.02 s时滑动变阻器R两端的电压瞬时值为零

C. 线圈产生的电动势e随时间t变化的规律是$e=6\sqrt{2}\sin 100\pi t$(V)

D. 线圈从开始计时到$\frac{1}{200}$ s的过程中，通过R_1的电荷量为$\frac{\sqrt{2}}{200\pi}$ C

● 解析

［答案］ D

［分析］

该例着重传授交流电“四值”的不同用途.

P 位于滑动变阻器距下端 $\frac{1}{3}$ 处，下端电阻为 2 Ω，上端电阻为 4 Ω，下端电阻与 R_1 电阻并联后的电阻为 1 Ω，回路中干路中的电流 $I=\frac{U}{R_{并}+R_{上部}}=\frac{5}{1+4}\ \text{A}=1\ \text{A}$，通过电阻 R_1 的电流为 0.5 A，消耗的功率 $P=I^2R_1=0.5\ \text{W}$，选项 A 错误；图中线圈的位置是垂直中性面的位置，电动势的瞬时值此时最大，线圈匀速转动的周期 $T=0.02\ \text{s}$，经过 0.02 s 时还是回到图中位置，滑动变阻器 R 两端的电压瞬时值最大，选项 B 错误；线圈电阻 $r=1\ \Omega$，内阻所占电压为 1 V，电动势的有效值为 1 V+5 V=6 V，电动势的最大值为 $6\sqrt{2}$ V，角速度为 100π rad/s，图中线圈的位置是垂直中性面的位置，线圈产生电动势的瞬时值表达式 $e=6\sqrt{2}\cos 100\pi t\,(\text{V})$，选项 C 错误；通过回路干路上的电量为 $q=n\frac{\Delta\Phi}{R_{并}+R_{上部}+r}$，线圈从开始计时到 $\frac{1}{200}$ s 的过程中，线圈磁通量的变化量为 $\Delta\Phi=BS=\frac{E_m}{N\omega}=\frac{6\sqrt{2}}{100\pi}\ \text{Wb}$，$q=\frac{\sqrt{2}}{100\pi}\ \text{C}$，通过 R_1 的电荷量是干路电荷量的一半，$q'=\frac{\sqrt{2}}{200\pi}\ \text{C}$，选项 D 正确.

［小结］

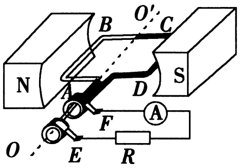
交流电有四个很重要的物理量，它们的用途各不相同，最大值通常用于计算电容器的耐压值（击穿电压）；有效值计算电功和电热及其电功率；平均值（用法拉第电磁感应定律计算所得的数值）计算电量；瞬时值计算转动力矩.

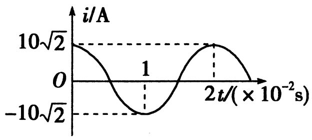
口诀：四值的用途

交流有四值，用途各不同。
最大求耐压，有效算电功，
平均计电量，瞬时解转动。

章节练习

1.(2013·高考山东卷)图甲是小型交流发电机的示意图,两磁极 N、S 间的磁场可视为水平方向的匀强磁场,A 为交流电流表,线圈绕垂直于磁场的水平轴 OO'沿逆时针方向匀速转动,从图示位置开始计时,产生的交变电流随时间变化的图象如图乙所示,以下判断正确的是 ( )





甲　　　　　　乙

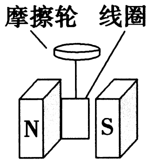
A. 电流表的示数为 10 A

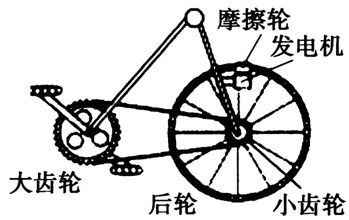
B. 线圈转动的角速度为 50π rad/s

C. 0.01 s 时线圈平面与磁场方向平行

D. 0.02 s 时电阻 R 中电流的方向自右向左

2.(2016·贵州省贵阳市高三检测)有一种自行车,它有能向自行车车头灯泡供电的小型发电机,其原理示意图如图甲所示;图中 N、S 是一对固定的磁极,磁极间有一固定在绝缘转轴上的矩形线圈,转轴的一端有一个与自行车后轮边缘接触的摩擦轮. 如图乙所示,当车轮转动时,因摩擦而带动摩擦轮转动,从而使线圈在磁场中转动而产生电流给车头灯泡供电. 关于此装置,下列说法正确的是 ( )





甲　　　　　　乙

A. 自行车匀速行驶时线圈中产生的是交流电

B. 小灯泡亮度与自行车的行驶速度无关

C. 知道摩擦轮和后轮的半径，就可以知道后轮转一圈的时间里摩擦轮转动的圈数

D. 线圈匝数越多，穿过线圈的磁通量的变化率越大

3.(2014·高考天津卷)如图1所示，在匀强磁场中，一矩形金属线圈两次分别以不同的转速，绕与磁感线垂直的轴匀速转动，产生的交变电动势图象如图2中曲线 a、b 所示，则

( )

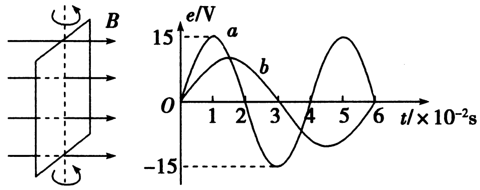


图1　　图2

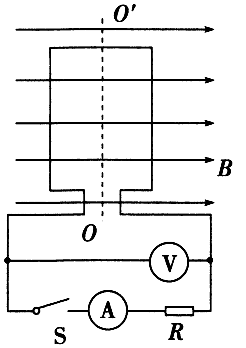
A. 两次 $t=0$ 时刻线圈平面均与中性面重合

B. 曲线 a、b 对应的线圈转速之比为 2∶3

C. 曲线 a 表示的交变电动势频率为 25 Hz

D. 曲线 b 表示的交变电动势有效值为 10 V

4.(2016·福建联考)如图所示为交流发电机示意图,匝数 $n=100$ 匝的矩形线圈,边长分别为 10 cm 和 20 cm,内阻为 5 Ω,在磁感应强度 $B=0.5$ T 的匀强磁场中绕 OO' 轴以 $50\sqrt{2}$ rad/s 的角速度匀速转动,线圈和外部 20 Ω 的电阻 R 相连接,已知线圈绕 OO' 轴转动时产生的电动势最大值 $E_m=NBS\omega$,求:

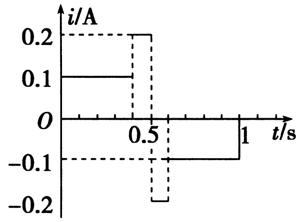


(1)电压表和电流表示数?

(2)电阻 R 上所消耗的电功率是多少?

(3)由图示位置转过 90°的过程中,通过 R 的电量是多少?

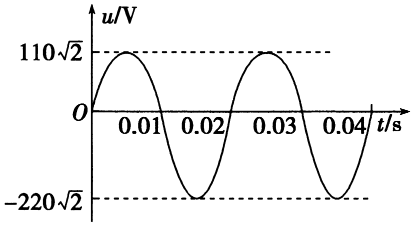
5.(2013·高考海南卷)通过一阻值 $R=100\ \Omega$ 的电阻的交变电流如图所示，其周期为 1 s.电阻两端电压的有效值为　　（　　）



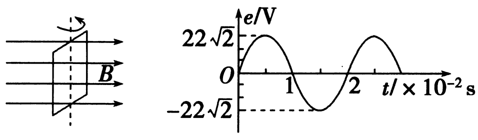
A. 12 V　　　　B. $4\sqrt{10}$ V

C. 15 V　　　　D. $8\sqrt{5}$ V

6.(2016·临沂高三月考)电压 u 随时间 t 的变化情况如图所示，求电压的有效值？



7.(2016·深圳月考)在匀强磁场中，一矩形金属线框绕与磁感线垂直的转动轴匀速转动，如图甲所示.产生的交变电动势随时间变化的规律如图乙所示.则下列说法正确的是　　（　　）



甲　　　　乙

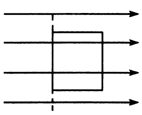
A. $t=0.01$ s 时穿过线框的磁通量最小

B. 该交变电动势的有效值为 $11\sqrt{2}$ V

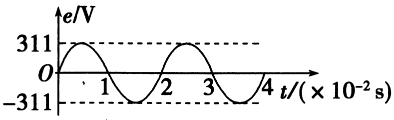
C. 该交变电动势的瞬时值表达式为 $e=22\sqrt{2}\sin(100\pi t)$V

D. 电动势瞬时值为 22 V 时，线圈平面与中性面的夹角为 45°

8.(2016·昆明统一考试)如图甲所示,将阻值为 100 Ω 的电阻丝绕成一个 110 匝的闭合矩形线圈,让其在匀强磁场中绕垂直于磁场方向的轴匀速转动,产生的感应电动势如图乙所示.则可以判断 ( )



甲



乙

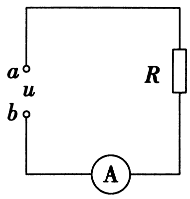
A. $t=0$ 时刻线圈应转到图甲所示的位置

B. 该线圈的转速为 100 r/s

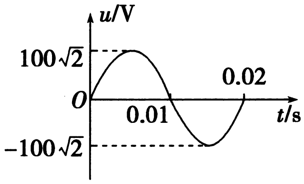
C. 穿过线圈的磁通量的最大值为$\frac{1}{50\pi}$ Wb

D. 线圈转一周所产生的电热为 9.68 J

9.(2016·山东潍坊联考)在如图甲所示的电路中,电阻 R 的阻值为 50 Ω,若在 a、b 间加上如图乙所示的正弦式交变电流,则下列说法正确的是 ( )



甲



乙

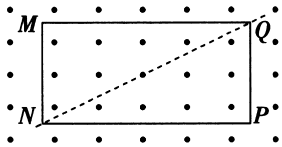
A. 交流电压的有效值为 100 V

B. 电流表的示数为 2 A

C. 产生该交变电流的线圈在磁场中转动的角速度为 3.14 rad/s

D. 如果产生该交变电流的线圈转速提高一倍,则电流表的示数也增大一倍

10.(2016·安徽“江南十校”高三联考)如图所示,处在垂直纸面向外、磁感应强度为 B 的匀强磁场中的矩形线框 $MNPQ$,以恒定的角速度 ω 绕对角线 NQ 转动.已知 MN 长为 l_1,NP 长为 l_2,线框电阻为 R. $t=0$ 时刻线框平面与纸面重合,下列说法正确的是 ( )



A. 矩形线框产生的感应电动势有效值为$\frac{\sqrt{2}}{2}Bl_1l_2\omega$

B. 矩形线框转过 π 时的电流强度为零

C. 矩形线框转动一周,通过线框任意横截面电荷量为$\frac{Bl_1l_2}{R}$

D. 矩形线框转过 π 过程中产生的热量为$\frac{\pi B^2l_1^2l_2^2\omega}{2R}$

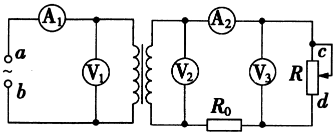
第二十二讲 变压器与电能的输送

内容导读

本讲主要讲授两类题型的解题方法，一类是关于变压器的动态讨论，另一类是关于远距离输电问题.

典例剖析

【例 1】(2015 · 高考安徽卷)如图所示电路中，变压器为理想变压器，a、b 接在电压有效值不变的交流电源两端，R_0 为定值电阻，R 为滑动变阻器. 现将变阻器的滑片从一个位置滑动到另一位置，观察到电流表 A_1 的示数增大了0.2 A，电流表 A_2 的示数增大了0.8 A，则下列说法正确的是 (　　)



A. 电压表 V_1 示数增大

B. 电压表 V_2、V_3 示数均增大

C. 该变压器起升压作用

D. 变阻器滑片是沿 $c\to d$ 的方向滑动

● 解析

[答案] D

[分析]

本例着重传授关于变压器的动态讨论问题的一般解决方法.

由于 a、b 接在电压有效值不变的交流电源两端，故电压表 V_1 示数不变，选项 A 错误；由理想变压器原理公式$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$且 U_1、n_1、n_2 不变，则 U_2 不变，即 V_2 的示数不

●解析

变，V_3 的示数 $U_3=U_2-I_2R_0$ 应减小，选项 B 错误；由公式 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$ 得：$\frac{n_1}{n_2}=\frac{\Delta I_2}{\Delta I_1}=\frac{0.8}{0.2}=4$，则 $n_1>n_2$，该变压器起降压作用，选项 C 错误；又 $I_2=\frac{U_2}{R_0+R}$，I_2 增大，R 应减小，故滑片应沿 $c\to d$ 方向滑动，选项 D 正确.

[小结]

1. 理想变压器是转移电能的效率为 100% 的变压器，是忽略铜损、铁损和磁损的变压器. 实际使用的变压器效率很高，可认为就是理想变压器. 理想变压器有下列五个因果关系：

(1) 输入电压 U_1：由发电机的(路)端电压 $U_{端}$ 决定，即 $U_1=U_{端}$；

(2) 输出电压 U_2：由输入电压 U_1 决定，即 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1$；

(3) 输入功率 P_1：由输出功率 P_2(用户的需求)决定，即 $P_1=P_2$ 或 $U_1I_1=U_2I_2$；

(4) 输出电流 I_2：由负载电阻 R 决定，即 $I_2=\frac{U_2}{R}$；

(5) 输入电流 I_1：由输出电流 I_2 决定，即 $I_1=\frac{n_2}{n_1}I_2$.

匝数 n_1、n_2 一定时，U_1 和 U_2 均由 $U_{端}$ 决定. 发电机的路端电压往往是定值，则 U_1 和 U_2 通常也是定值. I_1 和 P_1 均由输出端决定. 不能将因果关系倒置，如不能将功率关系写成 $P_2=P_1$.

口诀：理想变压器的因果关系
变压用互感，电压看始端，
功率和电流，情况恰相反。

2. 理想变压器当有多个副线圈时，

(1)电压关系是：$U_1:U_2:U_3\cdots=n_1:n_2:n_3\cdots$(正比关系仍然成立)

(2)电流关系是：$n_1I_1=n_2I_2+n_3I_3+\cdots$(由功率关系 $I_1U_1=I_2U_2+I_3U_3+\cdots$ 推导而来，但是反比关系不再成立)

【例 2】(2016·青岛质检)某村在距村庄较远的地方修建了一座小型水电站,发电机输出功率为 9 kW,输出电压为 500 V,输电线的总电阻为 10 Ω,允许线路损耗的功率为输出功率的 4%,求:

(1)村民和村办小企业需要 220 V 电压时,求所用升压变压器和降压变压器的原、副线圈的匝数比各为多少;(不计变压器的损耗)

(2)若不用变压器而由发电机直接输送,村民和村办小企业得到的电压和功率各是多少.

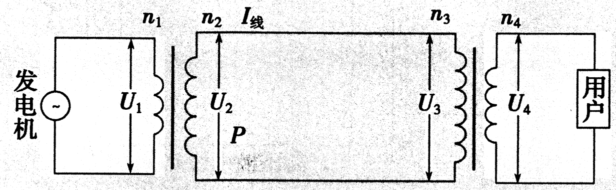
●解析

[**答案**] (1)1∶3 72∶11 (2)320 V 5 760 W

[**分析**]

该例着重传授远距离输电问题的一般解题方法,即要牢牢把握一个中心、两个基本点,才能更好更快地解决问题.

(1)建立如图所示的远距离输电模型.



由线路损耗的功率 $P_{损}=I_{线}^2 R_{线}$ 和 $P_{损}=4\%P_{出}$ 可得:

$$I_{线}=\sqrt{\frac{P_{损}}{R_{线}}}=\sqrt{\frac{9\ 000\times 4\%}{10}}\ \text{A}=6\ \text{A}$$

又因为 $P_{出}=U_2 I_{线}$,所以,$U_2=\frac{P_{出}}{I_{线}}=\frac{9\ 000}{6}\ \text{V}=1\ 500\ \text{V}$

$U_3=U_2-I_{线} R_{线}=(1\ 500-6\times 10)\ \text{V}=1\ 440\ \text{V}$

根据理想变压器规律:

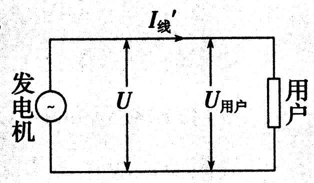
$$\frac{n_1}{n_2}=\frac{U_1}{U_2}=\frac{500\ \text{V}}{1\ 500\ \text{V}}=\frac{1}{3}$$

$$\frac{n_3}{n_4}=\frac{U_3}{U_4}=\frac{1\ 440\ \text{V}}{220\ \text{V}}=\frac{72}{11}$$

所以升压变压器和降压变压器原、副线圈的匝数比分别是 1∶3 和 72∶11.

●解析

(2)若不用变压器而由发电机直接输送(模型如图所示),



由 $P_{出}=UI_{线}'$可得:

$I_{线}'=\frac{P_{输出}}{U}=\frac{9\ 000}{500}$ A=18 A

所以线路损耗的功率:$P_{线}=I_{线}'^2R_{线}=18^2\times10$ W

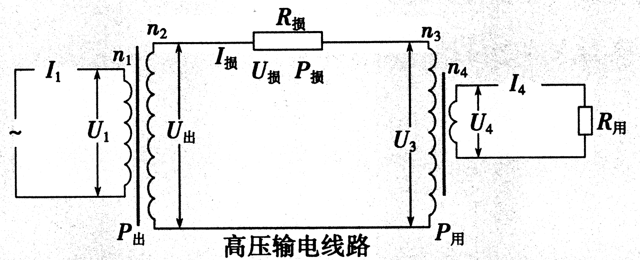
=3 240 W

用户得到的电压:$U_{用户}=U-I_{线}'R_{线}=(500-18\times10)$ V=320 V

用户得到的功率:$P_{用}=P_{出}-P_{线}=(9\ 000-3\ 240)$ W=5 760 W.

[**小结**]

如图是高压输电线路示意图:



一个中心是"输电线的电流";两个基本点如下:

(1)电压关系:$U_{出}=U_{损}+U_3$. $U_{出}=\frac{n_2}{n_1}U_1=\frac{P_{出}}{I_{线}}$,$U_{损}=I_{线}R_{线}=\sqrt{P_{损}R_{线}}=\frac{P_{损}}{I_{线}}$,

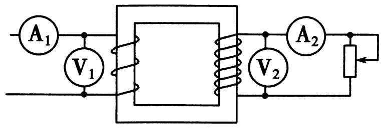
$U_3=\frac{n_3}{n_4}U_{用}=\frac{P_{用}}{I_{线}}$.

(2)功率关系:$P_{出}=P_{损}+P_{用}$. $P_{损}=I_{线}^2R_{线}=\frac{U_{损}^2}{R_{线}}=I_{线}U_{损}$,$P_{出}=U_1I_1=$

$I_{线}U_{出}$,$P_{用}=I_{线}U_3=I_4U_4=\frac{U_4^2}{R_{用}}=I_4^2R_{用}$.

章节练习

1.(2016·黄石联考)一理想变压器给负载供电,变压器输入电压不变,如图所示.如果负载电阻的滑片向上移动,则图中所有交流电表的读数及输入功率变化情况正确的是(均为理想电表) ( )



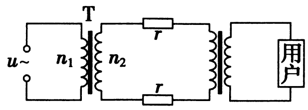
A. V_1、V_2 不变,A_1 增大,A_2 减小,P 增大

B. V_1、V_2 不变,A_1、A_2 增大,P 增大

C. V_1、V_2 不变,A_1、A_2 减小,P 减小

D. V_1 不变、V_2 增大,A_1、A_2 减小,P 减小

2.(2015·高考福建卷)如图为远距离输电示意图,两变压器均为理想变压器,升压变压器 T 的原、副线圈匝数分别为 n_1、n_2,在 T 的原线圈两端接入一电压 $u=U_m\sin\omega t$ 的交流电源,若输送电功率为 P,输电线的总电阻为 $2r$,不考虑其他因素的影响,则输电线上损失的电功率为 ( )



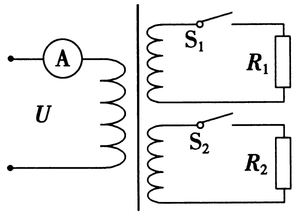
A. $\left(\frac{n_1}{n_2}\right)\frac{U_m^2}{4r}$

B. $\left(\frac{n_2}{n_1}\right)\frac{U_m^2}{4r}$

C. $4\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2\left(\frac{P}{U_m}\right)^2 r$

D. $4\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2\left(\frac{P}{U_m}\right)^2 r$

3.(2016·开封模拟)如图所示,理想变压器有两个副线圈,匝数分别为 n_1 和 n_2,所接负载 $4R_1=R_2$,当只闭合 S_1 时,电流表示数为 1 A,当 S_1 和 S_2 都闭合时,电流表示数为 2 A,则 $n_1:n_2$ 为 ( )



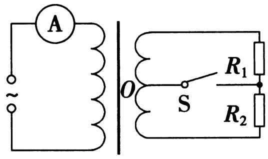
A. 1∶1

B. 1∶2

C. 1∶3

D. 1∶4

4.(2016·临沂月考)如图所示,理想变压器原、副线圈的匝数之比是 10∶1,原线圈输入交变电压 $u=100\sqrt{2}\sin 50\pi t$ V,O 是副线圈中心抽出的线头,$R_1=5\ \Omega$,$R_2=15\ \Omega$,则 ( )



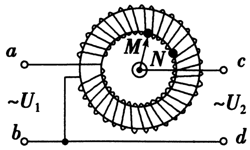
A. 开关 S 断开时,电流表的示数为 0.05 A

B. 开关 S 闭合时,电流表的示数为 0.05 A

C. 开关 S 闭合时,两电阻总的电功率为 $\frac{20}{3}$ W

D. 开关 S 断开时,两电阻总的电功率为 $\frac{20}{3}$ W

5.(2016·高考江苏卷)一自耦变压器如图所示,环形铁芯上只绕有一个线圈,将其接在 a、b 间作为原线圈.通过滑动触头取该线圈的一部分,接在 c、d 间作为副线圈.在 a、b 间输入电压为 U_1 的交变电流时,c、d 间的输出电压为 U_2.在将滑动触头从 M 点顺时针旋转到 N 点的过程中 ( )



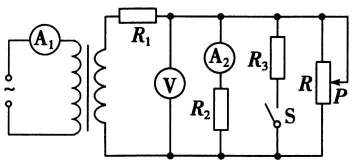
A. $U_2>U_1$,U_2 降低

B. $U_2>U_1$,U_2 升高

C. $U_2<U_1$,U_2 降低

D. $U_2<U_1$,U_2 升高

6.(2016·高考天津卷)如图所示,理想变压器原线圈接在交流电源上,图中各电表均为理想电表.下列说法正确的是 ( )



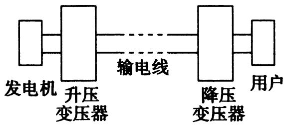
A. 当滑动变阻器的滑动触头 P 向上滑动时,R_1 消耗的功率变大

B. 当滑动变阻器的滑动触头 P 向上滑动时,电压表 V 示数变大

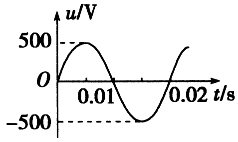
C. 当滑动变阻器的滑动触头 P 向上滑动时,电流表 A_1 示数变大

D. 若闭合开关 S,则电流表 A_1 示数变大,A_2 示数变大

7.(2014·高考四川卷)如图所示,甲是远距离输电线路的示意图,乙是发电机输出电压随时间变化的图象,则 (　　)



甲



乙

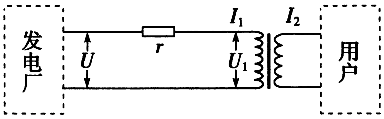
A. 用户用电器上交流电的频率是 100 Hz

B. 发电机输出交流电的电压有效值是 500 V

C. 输电线的电流只由降压变压器原副线圈的匝数比决定

D. 当用户用电器的总电阻增大时,输电线上损失的功率减小

8.(2014·高考浙江卷)如图所示为远距离交流输电的简化电路图. 发电厂的输出电压是 U,用等效总电阻是 r 的两条输电线输电,输电线路中的电流是 I_1,其末端间的电压为 U_1. 在输电线与用户间连有一理想变压器,流入用户端的电流为 I_2. 则 (　　)



A. 用户端的电压为$\frac{I_1U_1}{I_2}$

B. 输电线上的电压降为 U

C. 理想变压器的输入功率为 I_1^2r

D. 输电线路上损失的电功率为 I_1U

选修 3-2　传感器

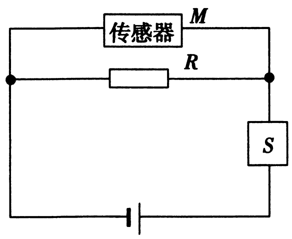
第二十三讲　传感器的工作原理

内容导读

本讲讲述传感器的基本工作原理,以及对电路电流或电压的控制作用.

典例剖析

【例 1】(2013・高考江苏卷)在输液时,药液有时会从针口流出体外,为了及时发现,设计了一种报警装置,电路如图所示.M 是贴在针口处的传感器,接触到药液时其电阻 R_M 发生变化,导致 S 两端电压 U 增大,装置发出警报,此时　　(　　)



A. R_M 变大,且 R 越大,U 增大越明显

B. R_M 变大,且 R 越小,U 增大越明显

C. R_M 变小,且 R 越大,U 增大越明显

D. R_M 变小,且 R 越小,U 增大越明显

● 解析

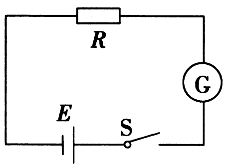
[答案]　C

[分析]

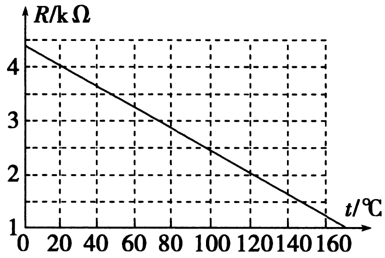
该例讲授输液报警器工作原理的一般分析方法,以及分析推理能力.

S 两端的电压增大,总电流变大,总电阻变小,说明 M 的电阻变小,R_M 变小,且 R 越大,并联电阻减小越快,干路电流增大越明显,电压 U 变大越明显,C 项正确.

【例 2】(2015·长春模拟)温度传感器广泛应用于家用电器中,它是利用热敏电阻的阻值随温度变化的特性来工作的.如图甲所示为某装置中的传感器工作原理图,已知电源的电动势 $E=9.0$ V,内阻不计;G 为灵敏电流表,其内阻 R_g 保持不变;R 为热敏电阻,其阻值随温度的变化关系如图乙所示,闭合开关 S,当 R 的温度等于 20 ℃时,电流表示数 $I_1=2$ mA;当电流表的示数 $I_2=3.6$ mA 时,热敏电阻的温度是 ( )



甲



乙

A. 60 ℃　　B. 80 ℃

C. 100 ℃　　D. 120 ℃

●解析

[答案] D

[分析]

该例结合图象讲授温度传感器的工作原理,以及分析推理的能力.

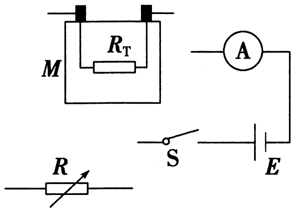
由题中图乙知,温度为 20 ℃时,R 的阻值 $R_1=4$ kΩ.由欧姆定律知 $E=I_1(R_1+R_g)$,$E=I_2(R_2+R_g)$,两式联立,解得 $R_2=2$ kΩ,由图乙中查得此时温度为 120 ℃,选项 D 正确.

[小结]

传感器就是电路的一些灵敏元件,通过传感器可以把力、热、声、光等的信号,转换为电信号,从而实现电路控制等目的.各种光控、声控、热控等传感器已经走进千家万户.

章节练习

1.(2016·北京四中三模)如图所示,一热敏电阻 R_T 放在控温容器 M 内;A 为毫安表,量程 6 mA,内阻为数十欧姆;E 为直流电源,电动势约为 3 V,内阻很小;R 为电阻箱,最大阻值为 999.9 Ω,S 为开关.已知 R_T 在 95 ℃时的阻值为 150 Ω,在 20 ℃时的阻值约为 550 Ω.现要求在降温过程中测量在 20～95 ℃之间的多个温度下 R_T 的阻值.



(1)在图中画出连线,完成实验原理电路图.

(2)完成下列实验步骤中的填空:

a.依照实验原理电路图连线.

b.调节控温容器 M 内的温度,使得 R_T 的温度为 95 ℃.

c.将电阻箱调到适当的阻值,以保证仪器安全.

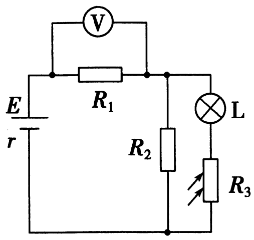
d.闭合开关.调节电阻箱,记录电流表的示数 I_0,并记录________.

e.将 R_T 的温度降为 T_1(20 ℃<T_1<95 ℃);调节电阻箱,使得电流表的读数________,记录________.

f.温度为 T_1 时热敏电阻的电阻值 R_{T1}=________.

g.逐步降低 T_1 的数值,直到 20 ℃;在每一温度下重复步骤 ef.

2.(2015·聊城模拟)如图所示,R_1、R_2 为定值电阻,L 为小灯泡,R_3 为光敏电阻,当照射光强度增大时 (　　)



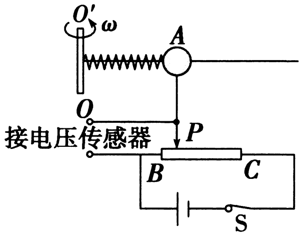
A.电压表的示数增大

B.R_2 中电流减小

C.小灯泡的功率增大

D.电路的路端电压增大

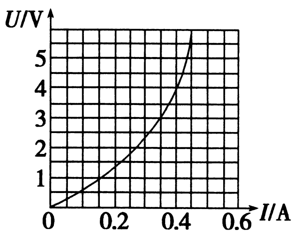
3.(2015·北京海淀模拟)某种角速度计，其结构如图所示.当整个装置绕轴 OO' 转动时，元件 A 相对于转轴发生位移并通过滑动变阻器输出电压，电压传感器(传感器内阻无限大)接收相应的电压信号.已知 A 的质量为 m，弹簧的劲度系数为 k、自然长度为 l，电源的电动势为 E、内阻不计.滑动变阻器总长也为 l，电阻分布均匀，装置静止时滑片 P 在变阻器的最左端 B 端，当系统以角速度 ω 转动时，则 (　　)



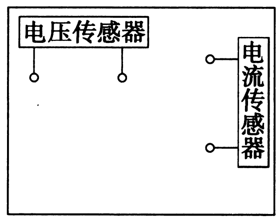
A.电路中电流随角速度的增大而增大　　B.电路中电流随角速度的增大而减小

C.弹簧的伸长量为 $x=\dfrac{m\omega l}{k-m\omega^2}$　　D.输出电压 U 与 ω 的函数式为 $U=\dfrac{Em\omega^2}{k-m\omega^2}$

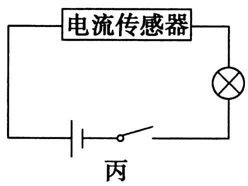
4.(2016·湖北省部分重点高中联考)利用传感器可以探测、感受外界的信号、物理条件等.如图甲所示为某同学用传感器做实验得到的小灯泡的 $U-I$ 关系图线.



甲



乙



丙

(1)实验室提供的器材有：电流传感器、电压传感器、滑动变阻器 A(阻值范围 0～10 Ω)、滑动变阻器 B(阻值范围 0～100 Ω)、电动势为 6 V 的电源(不计内阻)、小灯泡、开关、导线若干.该同学做实验时，滑动变阻器选用的是________(选填“A”或“B”)；请在图乙的方框中画出该实验的电路图.

(2)如果将该小灯泡接入图丙所示的电路中，已知电流传感器的示数为 0.3 A，电源电动势为 3 V.则此时小灯泡的电功率为________ W，电源的内阻为________Ω.

答案与解析

选修 3-1　静电场

第一讲　电场力的性质

［章节练习］

1. **答案**：$\frac{\sqrt{3}}{3}mg$　mg

分析：本题共有三个物理情景，第一个是摆动，第二、三是静止平衡. 第一个用动能定理可以解决. 第二和第三则根据力的平衡解决，电场是匀强电场，大小和方向都恒定不变，因此两次平衡时，电场力的大小和方向不变.

解析：带电小球在水平向右的匀强电场力的作用下，摆起的最大角度是 60°，表明该处的速度为零. 在摆动过程中，重力做负功，电场力做正功，细线弹力不做功，根据动能定理，有：

$Fl\sin\alpha - mgl(1-\cos\alpha) = 0-0$

解得电场力为：$F=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$.

当改变电场强度的大小和方向后，设场强与竖直线之间的夹角为 β，平衡在 $\alpha=60°$ 处，由正弦定理得：

$\frac{F}{\sin 60°}=\frac{mg}{\sin(180°-60°-\beta)}$

平衡在 $\alpha=30°$ 处，由正弦定理得：$\frac{F}{\sin 30°}=\frac{2mg}{\sin(180°-30°-\beta)}$

联立解得：$\beta=60°$，$F=mg$.

2. **答案**：D

分析：根据 z 轴上 $z=-\frac{h}{2}$ 处的合场强为零，可得感应电荷在该处的场强大小，接着根据对称性，可知感应电荷在 z 轴上 $z=\frac{h}{2}$ 处的电场强度大小，最后根据场强叠加原理解决本题.

解析：设点电荷为正电荷（电性是正是负不影响最终结果），则导体表面的感应电荷为负电荷. 设所求点为 A 点，取其关于 xOy 平面的对称点为 B，点电荷 q 在 A、B 两点的场强大小分别为 E_1、E_2，感应电荷在 A、B 两点的电场强度的大小分别为 E_A、E_B. 由题意可知，B 点的合场强为零，$E_B=E_2=\frac{kq}{\left(h+\frac{h}{2}\right)^2}=\frac{4kq}{9h^2}$，由对称性可知，$E_A=E_B=\frac{4kq}{9h^2}$，故 A 点合场强为 $E=E_A+E_1=\frac{4kq}{9h^2}+\frac{kq}{\left(\frac{h}{2}\right)^2}=\frac{40kq}{9h^2}$，选项 D 正确.

3. **答案**：(1)9.0×10^{-3} N (2)7.8×10^{3} N/C 方向沿 y 轴正方向

分析：在 C 点处，合场强根据菱形法解决，关于菱形法的二级结论 $E_{合}=2E_{分}\cos\alpha$ 要牢记.

解析：(1)根据库仑定律，A、B 两点电荷间的库仑力大小为 $F=k\dfrac{q^2}{L^2}$ ①

代入数据得 $F=9.0\times10^{-3}$ N. ②

(2)A、B 点电荷在 C 点产生的场强大小相等，均为 $E_1=k\dfrac{q}{L^2}$ ③

A、B 两点电荷形成的电场在 C 点的合场强大小为 $E=2E_1\cos30°$ ④

由③④式并代入数据得 $E=7.8\times10^{3}$ N/C ⑤

场强 E 的方向沿 y 轴正向.

4. **答案**：D

分析：依题意，可推出场源电荷 Q 的位置和电性. 由图象的斜率可得它在 A、B 两点产生电场强度的大小.

解析：由两试探电荷受力情况可知，点电荷 Q 为负电荷，且放置于 A、B 两点之间某位置，选项 B、C 错误；设 Q 与 A 点之间的距离为 l，由题图乙可得，点电荷在 A 点产生的场强 $E_A=k\dfrac{Q}{l^2}=\dfrac{F_a}{q_a}=\dfrac{4\times10^{-4}}{1\times10^{-9}}$ N/C $=4\times10^{5}$ N/C，同理可得，点电荷在 B 点产生的场强为 $E_B=k\dfrac{Q}{(0.5-l)^2}=\dfrac{F_b}{q_b}=\dfrac{1\times10^{-4}}{4\times10^{-9}}$ N/C$=0.25\times10^{5}$ N/C，解得 $l=0.1$ m，所以点电荷 Q 的位置坐标为 $x_Q=x_A+l=(0.2+0.1)$ m$=0.3$ m，选项 A 错误，D 正确.

5. **答案**：BD

分析：本题根据整体法和力平衡的条件解决.

解析：P 对 M 是静电引力，对 N 是静电斥力，在光滑的水平桌面上要使 M 和 N 组成的系统静止，只能三个电荷在一条直线上，否则细杆要转动，选项 B 正确. 把 M、N 及细杆组成的系统作为研究对象，根据整体法，整体要静止，合外力只能为零，选项 D 正确. 即 P 对 M 的引力要等于对 N 的斥力，根据库仑定律有 $k\dfrac{Qq}{L^2}=k\dfrac{Q\cdot2q}{x^2}$，解得 $x=\sqrt{2}L$，则 M 与 N 的距离小于 L，选项 A 错误. 由以上分析，M、N 分别是电荷 P 所产生的电场中一条电场线上的两点，可见 M 点电势高，选项 C 错误.

第二讲 电场能的性质

[章节练习]

1. **答案**：D

分析：加速度的大小，用库仑定律判断. 而速度大小关系，由动能定理判断，电场力做正功还是负功，即可以根据 $W=qU$ 讨论，也可根据力与速度之间的夹角讨论.

解析:由库仑定律 $F=\frac{kq_1q_2}{r^2}$ 可知,粒子在 a、b、c 三点受到的电场力的大小关系为 $F_b>F_c>F_a$,由 $a=\frac{F}{m}$,可知 $a_b>a_c>a_a$. 根据粒子的轨迹可知,粒子 Q 与场源电荷 P 的电性相同,二者之间存在斥力,由 $c\to b\to a$ 整个过程中,电场力先做负功再做正功,且 $W_{ba}>|W_{cb}|$,结合动能定理可知,$v_a>v_c>v_b$,选项 D 正确.

2. **答案**:AB

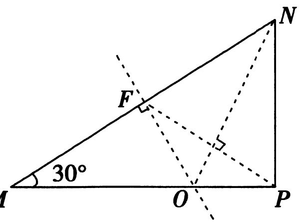
分析:根据图形特点,可知油滴所受电场力竖直向上,且大于重力;由于油滴带负电荷,匀强电场方向竖直向下,明确这些就能进一步讨论电荷能量的变化了.

解析:由于油滴受到的电场力和重力都是恒力,所以合外力为恒力,加速度恒定不变,所以选项 D 错误;由于油滴轨迹相对于过 P 的竖直线对称且合外力总是指向轨迹弯曲内侧,所以油滴所受合外力沿竖直向上的方向,因此电场力竖直向上,且 $qE>mg$,则电场方向竖直向下,所以 Q 点的电势比 P 点的高,选项 A 正确;当油滴从 P 点运动到 Q 点时,电场力做正功,电势能减小,选项 C 错误;当油滴从 P 点运动到 Q 点的过程中,合外力做正功,动能增加,所以 Q 点的动能大于 P 点的动能,选项 B 正确.

3. **答案**:AD

分析:紧扣点电荷电场的分布特点寻找场源电荷的位置,是解决本题的关键.

解析:根据正点电荷等势面的分布特点,点电荷既在 MN 连线的中垂线上,又在 PF 的中垂线上,即在两中垂线的交点处,如图所示在直角边上,根据几何关系,$MO=2OP$,即距离 P 点较近,因此选项 A、D 正确,B 错误. 依据刚才的分析,得 $U_{PN}>0$,将正试探电荷从 P 点搬运到 N 点,做正功,选项 C 错误.



4. **答案**:CD

分析:根据等势面分布特点,可知上面的电荷为正,下面的为负;再根据曲线运动的知识,可知试探电荷是负电荷.

解析:做曲线运动的物体受到的合力方向指向曲线的内侧,根据带电粒子受力方向可以判断,粒子带负电,选项 A 错误;负电荷在电势低的位置电势能大,粒子的电势能先变大后变小,粒子的电势能和动能之和不变,所以粒子的动能先变小后变大,速度先变小后变大,选项 B 错误,C 正确;b、d 两点电势相同,粒子经过这两点时电势能相等,动能相等,速度大小也相等,选项 D 正确.

5. **答案**:BC

分析:本题要紧扣等量异种点电荷形成的电场,等势面和电场线的分布规律解决,因此需要平时牢记这种电场的基础知识.

解析:b 点电势为零,场强不为零,场强方向水平向右,选项 A 错误;等量异种电荷连线上,电场方向由正电荷指向负电荷,方向平行于 x 轴向右,在中点 O 处电势为零,O 点左侧电势为正,右侧电势为负,因此正电荷在正电势处电势能为正,选项 B 正确;O 点的电势低于 a 点的电势,电场力做负功,所以必须克服电场力做功,选项 C 正确;O 点和 b 点的电势相等,所以先后从 O、b 点移到 a 点,电场力做功相等,电势能变化相同,选项 D 错误.

6. **答案**:(1)10^4 m/s　(2)1.73×10^3 N/C　(3)400 V

分析:本题是"加速电场+偏转电场"的问题,粒子在偏转电场中做类平抛运动,加速电场使粒子在竖直方向获得动能,偏转电场使粒子在水平方向获得动能.

解析:(1)由动能定理得:$qU=\frac{1}{2}mv_1^2$

代入数据得 $v_1=10^4$ m/s.

(2)因带电粒子重力不计,则进入 PQ、MN 间电场中后,做类平抛运动,粒子沿初速度方向做匀速直线运动:$d=v_1t$

粒子沿电场方向做初速度为零的匀加速直线运动:$v_y=at$

由题意得:$\tan 30°=\frac{v_1}{v_y}$

由牛顿第二定律得 $qE=ma$

联立以上相关各式并代入数据得:$E=\sqrt{3}\times10^3$ N/C$\approx1.73\times10^3$ N/C.

(3)由动能定理得:$qU_{ab}=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m(v_1^2+v_y^2)$

联立以上相关各式代入数据得:$U_{ab}=400$ V.

第三讲　电场线与等势面

[章节练习]

1. **答案**:B

分析:电场线与等势面的关系是"同密同疏、处处正交、沿线降低".同一个等势面上电势相等,但场强不一定相等,场强是矢量.

解析:如果两个电势不同的等势面相交,则交线上任一点有两个电势的值,与静电场的唯一性相矛盾,选项 A 错误.电场线如果与等势面不垂直,沿等势面移动电荷,电场力要做功,等势面上任两点就有电势差,这与等势面的概念矛盾,选项 B 正确.电场强度是矢量,同一等势面上各点电场强度大小即便相等,方向不尽相同,选项 C 错误.沿电场线方向电势差为正,因此沿着电场线方向移动负电荷,必然做负功,选项 D 错误.

2. **答案**:C

分析:场强的大小看电场线的疏密,电势的高低可用电场线的方向判断,电场线与等势面处处正交,电场力做功与具体运动路径无关,仅与始末等势面有关.

解析:电场线的疏密反映电场的强弱,电场线越密,电场越强,据图可知,B 点的电场强度比 A 点大,选项A错误;沿电场线电势降低,小球表面的电势比容器内表面的高,选项B错误;容器内表面为等势面,而电场线总与等势面垂直,故 B 点的电场强度方向与该处内表面垂直,选项C正确.A、B 两点等势,将检验电荷从 A 点沿不同路径移到 B 点,电场力做功均为零,选项D错误.

3. **答案**:B

分析:从粒子做曲线运动的轨迹,可以断定两粒子电性恰好相反.场强大小看电场线的疏密,电场线的疏密再看等势面的疏密.电势高低看电场线的方向.电势能的变化看电场力做功.

解析:根据轨迹的弯曲方向可知,两粒子的电性相反,选项A错误;电场线与等势面"同密同疏",因此选项B正确;由于场源电荷的电性无法判断,因此电场线方向无法判定,则不能比较 a、b 的电势高低,选项C错误;电场力对两粒子均做正功,则两个粒子的电势能均减小,选项D错误.

4. **答案**:AD

分析:场强为零,只能说明电势差为零,但不能确定电势是否为零.场强的大小看电场线的疏密,而电势的高低看电场线的方向.场强的方向就是电场线的方向,沿电场线方向电势降低最快.

解析:场强方向如果不与等势面垂直,沿着等势面移动电荷,电场力就要做功,选项A正确.达到静电平衡的导体,内部场强处处为零,电势不为零,何况电势的零点可以任意选择,选项B错误.负点电荷形成的电场,随着场强的逐渐减小,电势却逐渐升高,选项C错误.电场线的方向总是从高的等电势面指向低的等电势面,而且是电势降落最快的方向,选项D正确.

5. **答案**:B

分析:粒子仅在电场力作用下运动,运动轨迹如果与电场线重合,电场线一定是直线.

解析:由于电场线是曲线,所以试探电荷从 P 点由静止释放后不会运动到 Q 点,选项A错误;试探电荷从 P 点移动到 Q 点,根据沿电场线方向电势逐渐降低,以及电场力做功与电势能变化的关系可知,电场力做正功,选项B正确;由于电场力对试探电荷做正功,所以试探电荷在 P 点的电势能大于在 Q 点的电势能,选项C错误;由题图可知 P 点场强大于 Q 点场强,所以试探电荷在 P 点所受电场力大于在 Q 点所受电场力,选项D错误.

6. **答案**:D

分析:根据电场线与等势面的关系,补画电场线,可以断定 Q 点处的电荷为负电荷.

解析:由题中所给的等势面分布图是对称的及电场线与等势面垂直可得,P、Q 两点应为等量异种电荷,选项A错误;a、b 两点的电场强度大小和方向均不同,选项B错误;因 P 处为正电荷,且 $d_{Pc}<d_{Pd}$,因此 c 点的电势高于 d 点的电势,选项C错误;因 P 处为正电荷,故 Q 处为负电荷,负电荷从靠负电荷 Q 较近的 a 点移到靠正电荷 P 较近的 c 点时,电场力做正功,电势能减少,选项D正确.

7. **答案**:B

分析:电子由 M 点分别运动到 N 点和 P 点的过程中,电场力所做的负功相等,根据电场力做功的特点,可知 c、d 是两条等势线,且 M 点的电势较高.

解析:电子带负电荷,电子由 M 点分别运动到 N 点和 P 点的过程中,电场力所做的负功相等,有 $W_{MN}=W_{MP}<0$,而 $W_{MN}=qU_{MN}$,$W_{MP}=qU_{MP}$,$q<0$,所以有 $U_{MN}=U_{MP}>0$,即 $\varphi_M>\varphi_N=\varphi_P$,匀强电场中等势线为平行的直线,所以 NP 和 MQ 分别是两条等势线,有 $\varphi_M=\varphi_Q$,选项 A 错误,B 正确;电子由 M 点到 Q 点过程中,$W_{MQ}=q(\varphi_M-\varphi_Q)=0$,电子由 P 点到 Q 点过程中,$W_{PQ}=q(\varphi_P-\varphi_Q)>0$,选项 C、D 错误.

8. **答案**:ACD

分析:当有多个场源电荷时,空间某处的电势高低,求代数和便知.

解析:由题图知,a 点处的电场线比 b 点处的电场线密集,c 点处电场线比 d 点处电场线密集,所以选项 A、C 正确;过 a 点画等势线,与 b 点所在电场线的交点电势等于 a 点电势,与 b 点位置比较知 b 点的电势高于 a 点的电势,选项 B 错误;正电荷在 d、c 两点产生的电势相等,而两个负电荷在 c 点产生的电势较低,总之三个电荷产生的电势在 d、c 两点的代数和,c 点的较小,选项 D 正确.

第四讲　关于电容器的动态讨论

[**章节练习**]

1. **答案**:B

分析:根据二力平衡,电场力应不变,场强应不变.

解析:若增大 R_1 的阻值,R_1 两端的电压增大,电流稳定后,电容两端的电压等于这个值,根据 $E=\frac{U}{d}$,场强增大,电场力大于重力,油滴便向上加速运动,选项 A 错误. 增大 R_2 的阻值,电容两端的电压不变,始终等于 R_1 两端的电压,因此场强不变,电场力不变,油滴不动,选项 B 正确. 增大两极板之间的距离,电容电压不变,场强 $E=\frac{U}{d}$ 变小,重力大于电场力,合力向下,油滴向下运动,选项 C 错误. 断开电键 S,电容器两极板上的电荷通过电阻 R_1、R_2 被中和,电容器之间的电场消失,油滴向下运动,选项 D 错误.

2. **答案**:C

分析:α 的大小表示电容器两极板之间的电势差的大小;θ 的大小表示电容器中的场强大小.

解析:若增大两极板的间距 d,由 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 可知,C 变小,而 Q 不变,由 $C=\frac{Q}{U}$ 可知,U 增大,α 增大,又 $E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$,$E$ 不变,电场力不变,小球的平衡状态不变,θ 不变,选项 A 错误;同理,若增大 Q,电容器的电容 C 不变,则 U 增大,α 增大,电场强度增大,则电场力增大,θ 增大,选项 B 错误;将 A 板向上提一

些，S 减小，则 C 变小，Q 不变，电压 U 增大，α 增大，电场强度增大，则电场力增大，θ 增大，选项 C 正确；在两板间插入云母片，ε_r 增大，则 C 变大，Q 不变，电压 U 必减小，α 减小，θ 减小，选项 D 错误.

3. **答案**：A

分析：解决本题，首先要把电路简化一下，把连接静电计外壳的导线，从高压电源的正极移动到电容器的 A 板，那么，静电计测量的电势差就是电容器的电势差了.

解析：断开开关 S，电容器所带电荷量不变，将 A、B 两极板分开一些，则 d 增大，根据 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$知，电容减小，根据 $U=\frac{Q}{C}$知，电势差增大，指针张角增大，选项 A 正确；保持开关 S 闭合，无论将 A、B 两极板分开些，还是将二者靠近些，电容器两端的电势差都不变，则指针张角不变，选项 B、C 错误；保持开关 S 闭合，滑动变阻器仅仅充当导线作用，电容器两端的电势差不变，滑动触头滑动不会影响指针张角，选项 D 错误.

第五讲　静电场的图象

［章节练习］

1. **答案**：A

分析：不做功，动能不变，做正功动能增加；E_k-x 图象的斜率表示力.

解析：金属壳内场强为零，因此粒子不受电场力，动能不变；金属壳外受到斥力作用，动能越来越大，但电场力越来越小；在本题图象中，图象的斜率是电场力的大小，因此选项 A 正确.

2. **答案**：BCD

分析：电势减小，电势差为正，电势增大，电势差为负.

解析：因 $\varphi-x$ 图线切线的斜率为电场强度的负值，故可知 C 点的场强为零，故 q_1、q_2 为等量同种电荷，选项 A 错误，B 正确；C、D 两点间斜率为正值，因此场强为负，选项 C 正确；NC 电势差为正，CD 电势差为负，负电荷在两段移动，电场力先做负功后做正功，选项 D 正确.

3. **答案**：BC

分析：场强的正负表示场强的方向；$E-x$ 图象的面积表示电势差.

解析：$E-x$ 图象的面积表示电势差，从 x_2 到 x_4 电场力必然做功，电势能必然变化，选项 A 错误；从 x_1 移动到 x_3 的过程电场力沿 x 轴负方向，电场力做负功，电势能增大，选项 B 正确；由 x_1 运动到 x_4 的过程中，场强先增大后减小，因此电场力先增大后减小，C 项正确，D 项错误.

4. **答案**：D

分析：根据图象斜率的物理意义判断场强大小的变化；由于粒子仅在电场力作用下做直线运动，因此粒子所在的电场线必为直线.

解析:E_p-x 图线的斜率表示电场力的负值($-qE$),正负是矢量的方向,故由图线可知 E 逐渐减小,选项 A 错误;因粒子仅受电场力作用,由 $qE=ma$ 可知 a 也逐渐减小,选项 D 正确;因加速度逐渐减小,速度图象的斜率应逐渐减小,选项 C 错误. E_k-x 图线的斜率表示电场力,而电场力逐渐减小,选项 B 错误.

第六讲 带电粒子在电场中的运动

[章节练习]

1. **答案**:$\frac{4}{15}h$

分析:解决电磁学的能量问题一般用动能定理,本题可对做功过程应用动能定理. 电容器与电源相连,电压不变.

解析:设板间电压为 U,由动能定理得:$mgh-qU=0$

将下极板向上平移 $\frac{2}{9}h$ 后,U 不变,板间距离为:$d=\frac{2}{3}h-\frac{2}{9}h=\frac{4}{9}h$

则板间电场强度:$E=\frac{U}{d}=\frac{9U}{4h}$

设微粒在距上极板 x 处速度为零,则由动能定理得:$mg\left(\frac{1}{3}h+x\right)-qEx=0$

联立解得:$x=\frac{4}{15}h$.

2. **答案**:(1)4 m/s,方向与 x 轴正方向夹角为 60° (2)(0,−1.8 m)

分析:本题小球的运动要考虑重力的作用,运动较为复杂,要根据运动的分解,把运动分解为 x、y 两个分运动解决,特别小球在第四象限的运动.

解析:(1)小球在第一象限做类平抛运动,设小球到达 x 轴的速度 v 与 x 轴正方向的夹角为 α,小球在第一象限的加速度为 a_1,由牛顿第二定律可得:$E_1q+mg=ma_1$

小球在竖直方向的位移:$h_1=\frac{1}{2}a_1t_1^2$

小球在竖直方向的速度:$v_y=a_1t_1$

小球到达 x 轴上的速度:$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}$

$\tan\alpha=\frac{v_y}{v_0}$

联立解得:$v=4$ m/s,$\alpha=60°$.

(2)由题意可知,小球进入第四象限后,水平方向做初速度为 $-v_0$,加速度为 a_2 的匀加速直线运动,竖直方向做初速度为 v_y,加速度为 g 的匀加速直线运动,设小球在第四象限运动时间为 t_2,则由运动学规律和牛顿第二定律可得:$a_2=\frac{E_2q}{m}$

水平方向：$x=v_0t_1=-v_0t_2+\frac{1}{2}a_2t_2^2$

竖直方向：$y=v_yt_2+\frac{1}{2}gt_2^2$

解得：$y=1.8\ \text{m}$

故小球回到 y 轴的坐标为$(0,-1.8\ \text{m})$.

3. **答案**：B

分析：两粒子质量相等、电量相等，因此所受电场力大小相等，加速度大小相等；又由于初速度相等，因此二者轨迹完全相同，在矩形区正中相交.

解析：根据类平抛运动的轨迹方程 $y=\frac{a}{2v_0^2}x^2$，代入 $qE=ma$，$x=\frac{s}{2}$，$y=\frac{h}{2}$，解得 $v_0=\frac{s}{2}\sqrt{\frac{qE}{mh}}$，选项 B 正确.

4. **答案**：B

分析：电场力和重力的合力就是等效重力，则粒子恰能经过光滑圆环最高点的临界速度可效仿重力场计算出来.

解析：无电场时，根据动能定理有 $mg(h-2R)=\frac{1}{2}mv_1^2-0$①，小球恰能经过 B 点，有 $mg=m\frac{v_1^2}{R}$②. 有电场时，$(mg+qE)(h-2R)>mg(h-2R)$，因此一定能到达 B 点；再根据动能定理，有$(mg+qE)(h-2R)=\frac{1}{2}mv_2^2-0$③，设在 B 点的向心力为 F_n，向心力为 $F_n=m\frac{v_2^2}{R}$④. ①/②结合③/④得 $F_n=mg+qE$，因此小球恰好能到达 B 点，选项 B 正确.

5. **答案**：(1)$\frac{mg}{q\sin\theta}$ (2)$\frac{6mg}{\tan\theta}$

分析：本题仍是等效重力场问题，等效最低点在 A 点，等效最高点是 A 关于 O 的对称点.

解析：(1)当小球静止时，根据平衡条件得：$qE=\frac{mg}{\sin\theta}$

解得：$E=\frac{mg}{q\sin\theta}$.

(2)据题意，小球恰做圆周运动，在 A 点关于 O 的对称点，有：$\frac{mg}{\tan\theta}=m\frac{v_1^2}{l}$

在 A 点，向心力：$F_{\text{Tm}}-\frac{mg}{\tan\theta}=m\frac{v_2^2}{l}$

在 A 点关于 O 的对称点到 A 用动能定理得：$\frac{mg}{\tan\theta}\cdot 2l=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$

联立解得：$F_{\text{Tm}}=\frac{6mg}{\tan\theta}$.

6. **答案**:AD

分析:粒子到达 C 点时速度方向恰好水平,表明电场力竖直向上大于重力,粒子带负电.粒子进入电场的运动,根据逆向思维,可视为类平抛运动.

解析:根据带电小球在电场中的运动轨迹可知,带电小球受到的合力竖直向上,电场力竖直向上,并且电场力大于重力,从 B 到 C,合外力对小球做负功,小球的动能减小,选项 A 正确;电场力对小球做负功,小球的电势能增大,选项 B 错误;全过程小球在水平方向上做匀速直线运动,由于 AB 的水平距离和 BC 的水平距离大小关系不确定,所以两段的运动时间的大小关系也不确定,选项 C 错误;C 点的速度恰好水平,可知两段的速度变化量的大小一定相等,选项 D 正确.

7. **答案**:AD

分析:本题电场力等于重力,二者抵消,因此进入圆轨道做匀速圆周运动.如果电场力不等于重力,就是等效重力的问题.

解析:小球进入半圆轨道,电场力和重力平衡,小球做匀速圆周运动,根据动能定理知 $mgH=\frac{1}{2}mv_A^2$,解得 $v_A=\sqrt{2gR}$,根据牛顿第二定律得 $F_N=m\frac{v_A^2}{R}=2mg$,则小球到达 C 点时对轨道的压力为 $2mg$,选项 A 正确;小球在 AC 部分做匀速圆周运动,加速度大小不变,方向始终指向圆心,选项 B 错误;若电场力小于重力,根据动能定理知,小球到达 C 点的速度不可能为零,若小球所受的电场力大于重力,根据径向的合力提供向心力,在最低点的速度不可能为零,选项 C 错误;若 $E=\frac{2mg}{q}$,在最低点轨道的作用力为零,根据牛顿第二定律得 $qE-mg=m\frac{v_C^2}{R}$,解得 $v_C=\sqrt{gR}$,根据动能定理得 $mg(H+R)-qER=\frac{1}{2}mv_C^2$,解得 $H=\frac{3R}{2}$,所以 H 至少为$\frac{3R}{2}$,选项 D 正确.

8. **答案**:(1)$\frac{7}{3}$ (2)$\frac{\sqrt{3}mg}{6q}$ 方向与竖直向下成 30°夹角

分析:本题先是一个平抛运动,再是两个类平抛运动.根据题意画出草图,然后能量守恒定律解决问题.

解析:(1)设小球的初速度为 v_0,初动能为 E_{k0},从 O 点运动到 A 点的时间为 t,令 $OA=d$,则 $OB=\frac{3}{2}d$,

根据平抛运动的规律有 $d\sin 60°=v_0 t$ ①

$d\cos 60°=\frac{1}{2}gt^2$ ②

又有 $E_{k0}=\frac{1}{2}mv_0^2$ ③

由①②③式得 $E_{k0}=\frac{3}{8}mgd$ ④

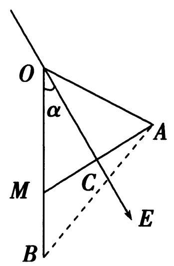
设小球到达 A 点时的动能为 E_{kA},则 $E_{kA}=E_{k0}+\frac{1}{2}mgd$ ⑤

由④⑤式得$\frac{E_{kA}}{E_{k0}}=\frac{7}{3}$. ⑥

(2)加电场后,小球从 O 点到 A 点和 B 点,高度分别降低了$\frac{d}{2}$和$\frac{3d}{2}$,设电势能分别减小 ΔE_{pA} 和 ΔE_{pB},由能量守恒及④式得 $\Delta E_{pA}=3E_{k0}-E_{k0}-\frac{1}{2}mgd=\frac{2}{3}E_{k0}$ ⑦

$\Delta E_{pB}=6E_{k0}-E_{k0}-\frac{3}{2}mgd=E_{k0}$ ⑧

在匀强电场中,沿任一直线,电势的降落是均匀的.设直线 OB 上的 M 点与 A 点等电势,M 与 O 点的距离为 x,如图所示,则有$\frac{x}{\frac{3}{2}d}=\frac{\Delta E_{pA}}{\Delta E_{pB}}$ ⑨



解得 $x=d$. MA 为等势线,电场必与其垂线 OC 方向平行.设电场方向与竖直向下的方向的夹角为 α,由几何关系可得 $\alpha=30°$ ⑩

即电场方向与竖直向下的方向的夹角为 30°.

设场强的大小为 E,有 $qEd\cos 30°=\Delta E_{pA}$ ⑪

由④⑦⑪式得 $E=\frac{\sqrt{3}mg}{6q}$. ⑪

9. **答案**:AD

分析:粒子无初速经相同加速电场和相同偏转电场后,侧移量相等,这是一个固定结论.

解析:带电粒子经加速电场后速度 $v_0=\sqrt{\frac{2E_1dq}{m}}$,出偏转电场时的纵向速度 $v_y=\sqrt{\frac{E_2^2qL^2}{2E_1md}}$,所以偏转电场 E_2 对粒子做功为 $W=\frac{1}{2}m(v_0^2+v_y^2)-\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{E_2^2L^2}{4E_1d}q$,故做功一样多,选项 A 正确;粒子打到屏上时的速度为 $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{\frac{4E_1^2d^2+E_2^2L^2}{2E_1d}\cdot\frac{q}{m}}$,与比荷有关,速度不一样大,选项 B 错误;纵向位移 $y=\frac{1}{2}at^2=\frac{E_2L^2}{4E_1d}$,即位移与比荷无关,由相似三角形可知,打到屏幕上的位置相同,选项 D 正确;运动到屏上所用时间 $t=\left(\sqrt{\frac{2d}{E_1}}+\frac{L+L'}{\sqrt{2E_1d}}\right)\times\sqrt{\frac{m}{q}}$,与比荷有关,选项 C 错误.

10. **答案**:(1)$3qEl_0$　(2)$3\sqrt{\frac{2ml_0}{qE}}$　(3)$\sqrt{\frac{17qEl_0}{2m}}$

分析:本题带电粒子在匀强电场中做斜上抛运动.以抛物线最高点为分界,粒子做类平抛运动.

解析:(1)粒子从 A 到 C 过程中电场力对它做的功 $W=qE(y_A-y_C)=3qEl_0$.　①

(2)粒子只受沿 y 轴负方向的电场力作用,粒子做类似斜上抛运动,粒子在 x 轴方向做匀速直线运动,由对称性可知轨迹最高点 D 在 y 轴上,可令 $t_{AD}=t_{DB}=T$,且 $t_{BC}=T$　②

由牛顿第二定律:$qE=ma$　③

由运动学公式:$y_D=\frac{1}{2}aT^2$　④

从 D 到 C 做类平抛运动,沿 y 轴方向:$y_D+3l_0=\frac{1}{2}a(2T)^2$　⑤

由②③④⑤式解得:$T=\sqrt{\frac{2ml_0}{qE}}$　⑥

则 $A\to C$ 过程所经历的时间 $t=3T=3\sqrt{\frac{2ml_0}{qE}}$.　⑦

(3)粒子由 D 到 C 过程中 x 轴方向:$2l_0=v_D\cdot 2T$　⑧

y 轴方向:$v_{Cy}=a\cdot 2T$　⑨

$v_C=\sqrt{v_D^2+v_{Cy}^2}$　⑩

由⑥⑧⑨⑩式解得:$v_C=\sqrt{\frac{17qEl_0}{2m}}$.　⑪

选修 3-1　恒定电流

第七讲　部分电路的基本规律

[**章节练习**]

1. **答案**:AD

分析:本题综合考查电流的微观解释、欧姆定律和电阻定律.

解析:将导线均匀拉长,使其半径变为原来的$\frac{1}{2}$,横截面积变为原来的$\frac{1}{4}$,导线长度要变为原来的 4 倍,金属丝电阻率不变,由电阻定律 $R=\rho\frac{L}{S}$可知,导线电阻变为原来的 16 倍;电压变为 $2U$,由欧姆定律 $I=\frac{U}{R}$可知,电流变为原来的$\frac{1}{8}$,选项 A 正确,B 错误;电流 I 变为原来的$\frac{1}{8}$,横截面积变为原来的$\frac{1}{4}$,单位体积中自由移动的电子数 n 不变,每个电子所带的电荷量 e 不变,由电流的微观表达式 $I=nevS$ 可知,电子定向移动的速率变为原来的$\frac{1}{2}$,选项 C 错误,D 正确.

2. **答案**:D

分析:本题直接考查电阻定律.

解析:设长薄片合金电阻板厚度为 h,根据电阻定律 $R=\rho\frac{L}{S}$,$R_{12}=\rho\frac{L_1}{hL_2}$,$R_{34}=\rho\frac{L_2}{hL_1}$,$\frac{R_{12}}{R_{34}}=\frac{L_1^2}{L_2^2}$,选项 D 正确.

3. **答案**:D

分析:伏安特性曲线上各点与坐标原点的连线的斜率表示电阻的倒数,本题中半导体的电阻随两端电压的减小而增大.

解析:由于电阻器 D 与两个标准电阻 R_1、R_2 并联后接在电压恒为 U 的电源两端时,三者功率相同,则此时三者电阻相同.当三者按照题图乙所示电路连接时,电阻器 D 两端的电压小于 U,由题图甲图象可知,电阻器 D 的电阻增大,则有 $R_D>R_1=R_2$,而 R_D 与 R_2 并联,电压相等,根据 $P=\frac{U^2}{R}$,$P_D<P_2$,选项 C 错误;由欧姆定律可知,电流 $I_D<I_2$,又 $I_1=I_2+I_D$,根据 $P=I^2R$,$P_1<4P_2$,选项 D 正确;由于电阻器 D 与电阻 R_2 的并联电阻 $R<R_1$,所以 D 两端的电压小于 $\frac{U}{2}$,且 D 阻值变大,则 $P_D<\frac{P}{4}$,选项 B 错误;同理可得 R_1 两端的电压小于 $\frac{2}{3}U$,所以 $P_1<\frac{4}{9}P$,选项 A 错误.

4. **答案**:D

分析:有电动机的电路是非纯电阻电路,电功和电热要区别计算,不可混淆.

解析:因为电动机停止转动时,电流表和电压表的示数分别为 1.0 A 和 1.0 V,说明电动机在没有将电能转化为机械能时属于纯电阻器件,故说明电动机的内阻为 $r=\frac{U}{I}=\frac{1.0\ \text{V}}{1.0\ \text{A}}=1.0\ \Omega$,选项 A、B 错误;当电动机正常运转时,电流表和电压表的示数分别为 2.0 A 和 15.0 V,则电动机的总功率为 $P_{总}=2.0\ \text{A}\times15.0\ \text{V}=30.0\ \text{W}$,此时电动机的发热功率为 $P_{热}=(2.0\ \text{A})^2\times1.0\ \Omega=4.0\ \text{W}$,故电动机的输出功率为 $P_{出}=P_{总}-P_{热}=30.0\ \text{W}-4.0\ \text{W}=26.0\ \text{W}$,选项 D 正确.

第八讲　闭合电路欧姆定律

[**章节练习**]

1. **答案**:AD

分析:$I-U$ 图象中,如题图所示两条线的交点,表示当外电阻确定时,闭合电路中的实际电压和电流.

解析:a 图线的斜率的绝对值的倒数等于电源的内阻,则电池组的内阻是 $r=\left|\frac{\Delta U}{\Delta I}\right|=\frac{4}{4}\ \Omega=1\ \Omega$,选项 A 正确;$b$ 图线的斜率的倒数等于电阻 R,则 $R=\frac{U}{I}=\frac{3}{1}\ \Omega=3\ \Omega$,选项 B 错误;由 a 图线可知,电源的电动势为 $E=4$ V,将该电阻接在该电池组两端,电池组的输出功率将是 $P=\left(\frac{E}{R+r}\right)^2R=\left(\frac{4}{3+1}\right)^2\times3\ \text{W}=$

3 W，选项 C 错误；改变外电阻的阻值时，该电池组的最大输出功率为 $P_m=\frac{E^2}{4r}=\frac{4^2}{4\times1}$ W=4 W，选项 D 正确；故选 A、D.

2. **答案**：AD

分析：当内阻与外电阻的数值越接近时，电源的输出功率越大.

解析：当 $R=r$ 时，P_r 最大，故接在甲电源上时，电源内阻消耗的功率最大，选项 A 正确；因为 $U_R=\frac{ER}{R+r}$，故接在甲电源上时，定值电阻 R 两端的电压最小，选项 B 错误；电源的输出功率为：$P_R=\frac{U_R^2}{R}=\frac{E^2R}{(R+r)^2}$，故当内阻 r 最小时，R 上的功率最大，即接在丙电源上时，电源的输出功率最大，选项 D 正确，C 错误.

3. **答案**：AC

分析：本题用“串反并同”可以快速做出判断.

解析：从图中可得电压表测量路端电压，电流表 A_1 测量电路总电流，电流表 A_2 测量滑动变阻器电流，当滑动变阻器的滑动片向右滑动时，滑动变阻器连入电路的电阻增大，电路总电阻增大，根据闭合电路欧姆定律可得路端电压增大，即电压表示数增大，C 正确，D 错误；电路总电流减小，即电流表 A_1 的示数减小，因为定值电路两端的电压增大，所以通过定值电阻的电流增大，因为电路总电流等于通过定值电阻电流与通过滑动变阻器电流之和，所以通过滑动变阻器的电流减小，即 A_2 读数减小，故 A 正确，B 错误.

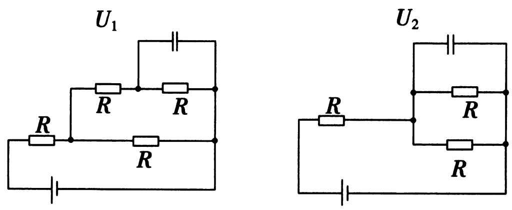
4. **答案**：C

分析：本题是含容电路问题.

解析：S 断开时等效电路如图甲：$U_1=\frac{\frac{R(R+R)}{(R+R)+R}}{R+\frac{R(R+R)}{(R+R)+R}}\cdot E\times\frac{1}{2}=\frac{1}{5}E$

S 闭合时等效电路如图乙：$U_2=\frac{\frac{R\cdot R}{R+R}}{R+\frac{R\cdot R}{R+R}}\cdot E=\frac{1}{3}E$

由已知可得：$Q_1=U_1C$，$Q_2=U_2C$，则$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{U_1}{U_2}=\frac{3}{5}$.

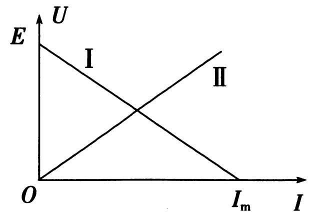


甲　　　　乙

5. **答案**:C

分析:本题属于电压增量问题.

解析:由题图可知,电压表 V_1 测路端电压,电流表 A_1 测干路电流,当电阻 R_3 发生改变时,电压表 V_1 和电流表 A_1 的示数变化的规律如图中图线Ⅰ所示,故有 $r=\frac{E}{I_m}=\frac{\Delta U_1}{\Delta I_1}$,选项 A、B 错误;电压表 V_2 测 R_2 和 R_3 并联部分的电压,电流表 A_2 测通过电阻 R_2 的电流,电压表 V_2 和电流表 A_2 的示数变化的规律如图中图线Ⅱ所示,则 $R_2=\frac{U_2}{I_2}=\frac{\Delta U_2}{\Delta I_2}$,选项 C 正确、D 错误.



6. **答案**:B

分析:本题属于电路故障的判断问题.

解析:由电路图可知,通过灯泡 A 的电流等于通过灯泡 B 的电流与通过 R_2 的电流之和.灯泡 A 比原来变暗了些,灯泡 B 比原来变亮了些,说明通过灯泡 B 的电流变大,而通过灯泡 A 的电流变小,因此通过 R_1 的电流变小,所以选项 B 正确.R_3 断路或 R_1 短路都会使两灯泡都比原来变亮;R_1、R_2 同时短路会使灯泡 A 比原来变亮,灯泡 B 熄灭.

第九讲　以串、并联为原理的电学实验

[章节练习]

1. **答案**:b　643

分析:两块微安表的电流是并联分流关系.

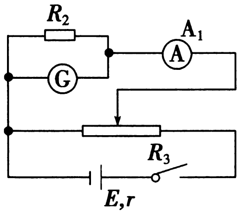
解析:将它们串联在同一电路中时,两电表的电流相同,根据图甲可知,偏转角度之比为 3∶5,根据乙图可得 $\frac{I_b \cdot R_{bG}}{R}=I_a-I_b$,解得 $R_{bG}=\frac{I_a-I_b}{I_b}R=\frac{2}{3}\times 963.9\ \Omega\approx 643\ \Omega$,故是测量 b 电表的内阻.

2. **答案**:(1)A_1　R_2　(2)图见解析　(3)$\frac{(I_1-I_2)R_2}{I_2}$　(4)见解析

分析:本题测量电路,两块电表是并联分流关系.

解析:(1)因待测电流表的最大电流只有 1 mA,故电流表可选择 A_1;定值电阻选择一个和待测电流表阻值接近的 $R_2=60\ \Omega$ 比较合适;

(2)电路如图所示;



(3)根据欧姆定律可得，电流表G的内阻的表达式为 $r_g=\frac{(I_1-I_2)R_2}{I_2}$；

(4)测量电阻的方法：伏安法、欧姆表法、半偏法、替代法、电桥法等均可.

3. **答案**：C

分析：本题属于电流表的改装，并联电阻越小，量程越大.

解析：设电流表A的内阻为 R_A，用电流表A的表盘刻度表示流过接线柱1的电流值时，若将接线柱1、2接入电路，根据并联电路的特点，有 $(I_1-I_A)R_1=I_AR_A$，解得 $I_1=3I_A=0.06$ A，则每一小格表示0.06 A；若将接线柱1、3接入电路，则 $(I_2-I_A)R_1=I_AR_A$，解得 $I_2=3I_A=0.06$ A，则每一小格表示0.06 A. 选项C正确.

4. **答案**：(1)D　C　(2)变大　(3)关系图线如解析图所示　(4)31

分析：本题测量电路依旧是串、并联关系.

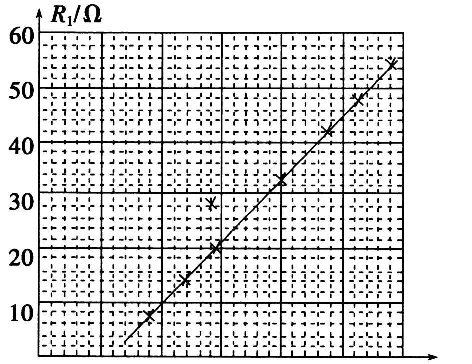
解析：(1)该实验测 R_x 电阻的原理为并联电路两支路电压相等，即 $(R_x+r_2)I_2=(R_0+R_1+r_1)I_1$，其中 r_1、r_2 分别为 A_1、A_2 两表的内阻. 又因为 R_x 的阻值约几十欧，与 R_0+R_1 在同一数量级，A_1 示数为 $I_1=0.15$ A，表示电流表 A_1 只能从C、D中选择，A_2 电流数量级与 A_1 相同. 由测量原理可知：$(R_x+r_2)I_2=(R_0+R_1+r_1)I_1$，因 R_x 未知，故 r_2 阻值应已知，故 A_1 选D，A_2 选C.

(2)因 A_1 示数 $I_1=0.15$ A不变，R_1 变小，$(R_0+R_1+r_1)I_1$ 变小，滑动变阻器所分电压变大，R 应变大.

(3)该图线为一条直线，离线较远的一组数据为错误数据，应舍去，其他点应对称分布在直线两侧.

(4)由实验原理得：$(R_0+R_1+r_1)I_1=(R_x+r_2)I_2$

其中 $R_0=10\ \Omega$，$r_2=5\ \Omega$，$I_1=0.15$ A，从图线上选择两组 R_1、I_2 代入不同数值可解得 R_x 约为31 Ω.



第十讲　以欧姆定律为原理的电学实验

［章节练习］

1. **答案**：(1)S_2 接 1，闭合 S_1，调节 R_P'，读出此时电压表和电流表的示数 U_1、I_1

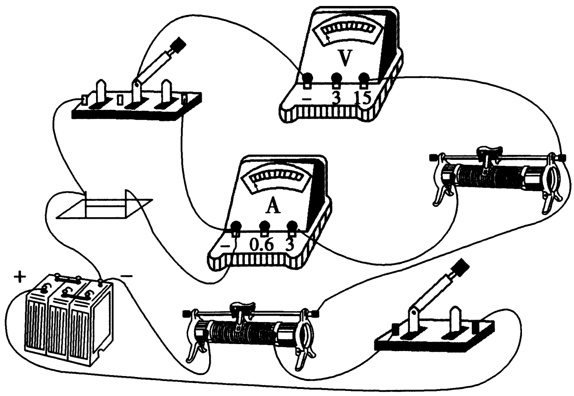
(2)$R_x=\frac{U_2}{I_2}-\frac{U_1}{I_1}$；(3)图见解析

分析：系统误差可以通过设计合理的原理而消除，本题就是消除伏安法系统误差的典范. 但是偶然误差永远无法消除，用求算术平均数的办法尽可能减小.

解析：(1)根据电路图可以看出，将电流表内阻考虑在内时，应将 S_2 接 1，读出两电表的示数.

(2)将电流表看成一个定值电阻 R_A，在情况①下，$R_x+R_P+R_A=\frac{U_2}{I_2}$，在情况②下，$R_P+R_A=\frac{U_1}{I_1}$，故 $R_x=\frac{U_2}{I_2}-\frac{U_1}{I_1}$.

(3)按照电路图连接实物图，滑动变阻器 R_P'为分压式，电流表采用外接法和内接法.

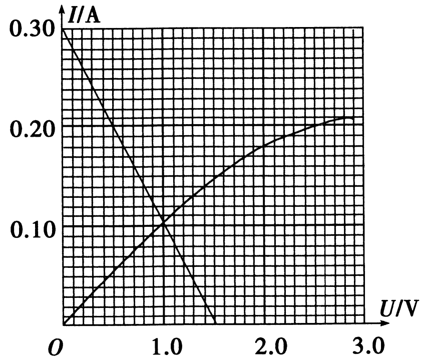


2. **答案**：(1)A　(2)B　(3)0.10

分析：描绘小灯泡的伏安特性曲线，伏安法用外接法，滑动变阻器用分压式，即外分式.

解析：(1)描绘小灯泡伏安特性曲线实验要求电压调节范围大，因此滑动变阻器采用分压式，为使调节过程中电压变化尽可能均匀，选用最大阻值较小的滑动变阻器 A.

(2)由于小灯泡的电阻比较小，因此电流表采用外接法，选用 B 图.



(3)画出电源的伏安特性曲线,如图所示,两个图线的交点即为小灯泡接在电源两端时小灯泡中的电流与小灯泡两端的电压,$U=1.0$ V,$I=0.10$ A,因此小灯泡消耗的功率为 $P=UI=0.10$ W.

3. **答案**:(1)B 0.410 (2)7、9 断路 (3)电流表改为内接;测量多组电流和电压值,计算出电阻的平均值.(或测量多组电流和电压值,用图象法求电阻值)

分析:测定金属丝的电阻率,依旧用外分式.

解析:(1)读数时应先旋紧部件 B,以防止测微螺杆发生转动;螺旋测微器的示数 $d=41.0\times0.01$ mm$=0.410$ mm.

(2)根据题意,电流表指针停在 0 刻度附近的位置,应是电路发生了断路,电压表读数十分接近电动势,故应是电路中 7、9 之间出现了断路.

(3)因$\dfrac{R_V}{R_x}<\dfrac{R_x}{R_A}$,故电流表应内接;为减小偶然误差,应测量多组电流和电压值,计算出电阻的平均值,或者作出 $U-I$ 图象,由图象求出电阻值.

第十一讲　以闭合电路的欧姆定律为原理的实验

[章节练习]

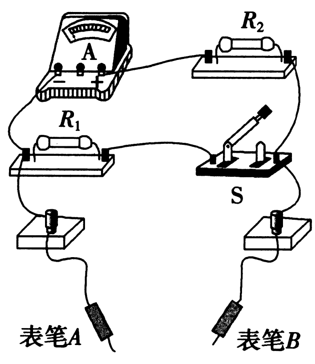
1. **答案**:(1)连线如图所示 (2)电流 电压 (3)黑 (4)1.00 880

分析:本题考查多用电表作为电流表和电压表时的基础知识.

解析:(2)开关 S 闭合时,电阻 R_1 与电流表并联,多用电表用于测量电流.开关 S 断开时,电阻 R_2 与电流表串联,多用电表用于测量电压.

(3)根据电流应从电流表或电压表的正接线柱进,从负接线柱出,即从表笔 A 出,表笔 A 应为黑色,表笔 B 应为红色.

(4)开关 S 断开时,由串联电路知识,$I_g(R_2+R_g)=U$,解得 $R_2=880\ \Omega$;开关 S 闭合时,由并联电路知识,$I_g(R_2+R_g)=(I-I_g)R_1$,解得 $R_1\approx1.00\ \Omega$.



2. **答案**:(1)10　(2)25.0　(3)0.690

分析:多用电表的不同量程实质是电压表和电流表的改装.

解析:(1)将开关S置于"1"挡时,定值电阻 R_3 能分较大的电流,所以量程应为10 mA.

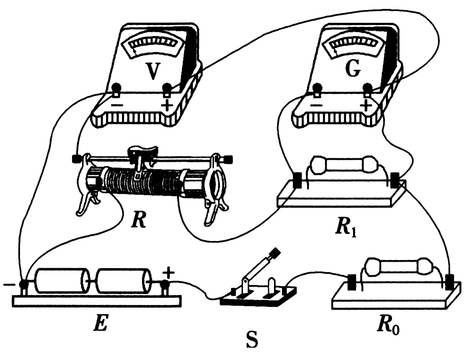
(2)当开关打到1时,$I_g(R_g+R_1+R_2)=(I_1-I_g)R_3$,$I_1=10$ mA

当开关打到2时:$I_g(R_g+R_1)=(I_2-I_g)(R_2+R_3)$,$I_2=1$ mA,

解得:$R_3=25.0\ \Omega$.

(3)开关置于2位置时,电流表量程为1 mA,由图示电流表可知,其分度值为0.01 mA,电流表示数为0.690 mA.

3. **答案**:(1)1.0　(2)如图所示　(3)1.66　充分利用已测得的数据　(4)CD



分析:本题用"内限式"测定电源电动势和内阻,所不同的是电流表用了电表的改装,放大了电流表的量程.

解析:(1)根据并联分流规律可知,$I_g r_g=(I-I_g)R_1$,代入解得 $R_1\approx1.0\ \Omega$.

(2)连接实物电路图时,注意按照电流的方向依次连接各用电器,最后将电压表和电流计分别并入电路.

(3)根据电源的伏安特性曲线可知,电源的内阻 $r=\frac{\Delta U}{\Delta I}-R_0$,结合逐差法可得,$r+R_0=$

$$\left(\frac{U_1-U_5}{I_5-I_1}+\frac{U_2-U_6}{I_6-I_2}+\frac{U_3-U_7}{I_7-I_3}+\frac{U_4-U_8}{I_8-I_4}\right)\div4=\frac{(U_1+U_2+U_3+U_4)-(U_5+U_6+U_7+U_8)}{4(I_5-I_1)}\approx5.66\ \Omega,$$

所以 $r\approx1.66\ \Omega$;逐差法处理实验数据时能够充分利用已测得的数据,以减小实验的偶然误差.

(4)电动势测量值误差很小,说明电压表分流产生的误差可以忽略不计,而内阻测量值偏大,根据(3)中计算式可知,其可能原因是 R_0 标称值比实际值小,D项正确;或者通过电源的电流的测量值小于真实值,即与电流计并联的电阻 R_1 的实际值小于计算值,C项正确.

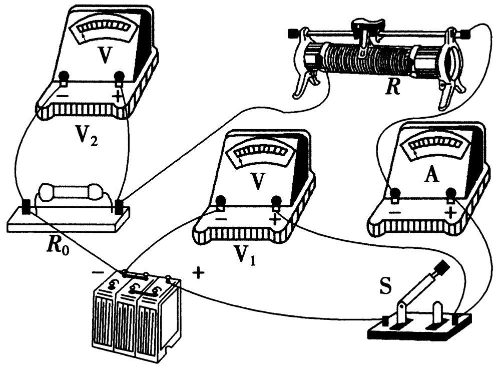
4. **答案**:(1)图见解析　(2)a　(3)$\frac{U_1I_2-U_2I_1}{I_2-I_1}$　$\frac{U_2-U_1}{I_1-I_2}$

分析:本题借测定电源电动势和内阻的实验考查了闭合电路的欧姆定律的基础知识.

解析:(1)电路连线如图:

(2)V_1 所测的是路端电压,因为$U=E-Ir$,故图线 a 是电压表 V_1 示数随电流表 A 示数变化关系.

(3)根据$U=E-Ir$,可得:$U_1=E-I_1r$;$U_2=E-I_2r$,联立解得:$E=\frac{U_1I_2-U_2I_1}{I_2-I_1}$;$r=\frac{U_2-U_1}{I_1-I_2}$.



选修 3-1 磁 场

第十二讲 安培力作用下导体棒的平衡

[章节练习]

1.**答案**:AD

分析:本题属于磁感应强度的叠加问题.

解析:根据右手螺旋定则,导线周围的磁场的磁感线是围绕导线形成的同心圆,两导线在 a 处的磁感应强度方向都向下,则合磁感应强度方向向下;根据$B=\frac{kI}{r}$,电流为 $3I$ 导线在 b 处的磁感应强度方向向下,而电流为 I 导线在 b 处的磁感应强度方向向上,因电流为 $3I$ 导线在 b 处产生的磁场较大,则合磁感应强度方向向下,因此 a 点和 b 点的磁感应强度方向相同,选项 A 正确,B 错误.两导线在 a 处的磁感应强度大小$B_1=\frac{3kI}{\frac{L}{2}}+\frac{kI}{\frac{L}{2}}=k\frac{8I}{L}$;两导线在 b 处的磁感应强度大小$B_2=\frac{3kI}{2L}-\frac{kI}{L}=\frac{kI}{2L}$,则 a 点和 b 点的磁感应强度大小之比为 16∶1,选项 C 错误,D 正确.

2.**答案**:安培力的方向竖直向下　金属棒的质量为 0.01 kg

分析:本题属于安培力作用下导体棒的平衡问题.

解析:依题意,开关闭合后,电流方向从 b 到 a,由左手定则可知,金属棒所受的安培力方向竖直向下.

开关断开时,两弹簧各自相对于其原长伸长了 $\Delta l_1=0.5$ cm.由胡克定律和力的平衡条件得:

$2k\Delta l_1=mg$　　①

式中,m 为金属棒的质量,k 是弹簧的劲度系数,g 是重力加速度的大小.

开关闭合后，金属棒所受安培力的大小为：$F=BIL$ ②

式中，I 是回路电流，L 是金属棒的长度. 两弹簧各自再伸长了 $\Delta l_2=0.3$ cm，由胡克定律和力的平衡条件得：$2k(\Delta l_1+\Delta l_2)=mg+F$ ③

由欧姆定律有：$E=IR$ ④

式中，E 是电池的电动势，R 是电路总电阻.

联立①②③④式，并代入题给数据得：$m=0.01$ kg. ⑤

3. **答案**：D

分析：直线电流周围产生的磁场与距离成反比，因此导线 L_2 各点受力各不相同，下边较大，使其逆时针转动.

解析：由右手螺旋定则可知导线 L_1 上方的磁场的方向为垂直纸面向外，且离导线 L_1 越远的地方，磁场越弱，导线 L_2 上的每一小部分受到的安培力方向水平向右，由于 O 点的下方磁场较强，则安培力较大，因此 L_2 绕固定转轴 O 按逆时针方向转动. 选项 D 正确.

4. **答案**：D

分析：磁电式电流表就是通电线圈在磁力作用下转动，并最终与螺旋弹簧的反转动平衡的仪表，转动角度与电流成正比.

解析：匀强磁场的磁感应强度应大小处处相等，方向处处相同，图中所示磁场是辐射状磁场，选项 A 错误. 线圈平面总是与磁场方向平行，因此电流与磁感应强度总是垂直，安培力大小总是 BIl，选项 B 错误，D 正确. 根据左手定则，线圈在磁力矩的作用下，顺时针转动.

第十三讲　带电粒子在磁场中的运动

［章节练习］

1. **答案**：AD

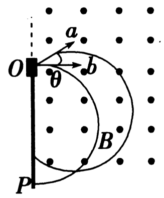
分析：本题属于洛伦兹力的动态讨论问题，洛伦兹力随速度的变化而变化.

解析：小球在运动过程中受重力、洛伦兹力和轨道支持力作用，因洛伦兹力永不做功，支持力始终与小球运动方向垂直，也不做功，即只有重力做功，满足机械能守恒，因此 C 点与 A 点等高，在同一水平线上，选项 A 正确；小球向右或向左滑过 B 点时速度等大反向，即洛伦兹力等大反向，小球对轨道的压力不等，选项 B 错误；同理小球向上或向下滑过 P 点时，洛伦兹力也等大反向，选项 C 错误；因洛伦兹力始终垂直 BC，小球在 AB 段和 BC 段(斜面倾角均为 θ)的加速度均由重力沿斜面的分力产生，大小为 $g\sin\theta$，由 $x=\frac{1}{2}at^2$ 得小球从 A 到 B 的时间是从 C 到 P 的时间的$\sqrt{2}$倍，选项 D 正确.

2. **答案**:AD

分析:本题属于带电粒子在直线边界匀强磁场中的运动问题.

解析:离子要打在屏 P 上,离子都要沿顺时针方向偏转,根据左手定则判断,离子都带正电,选项 A 正确;由于是同种离子,因此质量、电荷量相同,初速度大小也相同,由 $qvB=m\dfrac{v^2}{r}$ 可知,它们做圆周运动的半径相同,作出运动轨迹,比较得 a 在磁场中运动的路程比 b 的长,选项 C 错误;由 $t=\dfrac{s}{v}$ 可知,a 在磁场中运动的时间比 b 的长,选项 B 错误;从图上可以看出,选项 D 正确.



3. **答案**:见解析

分析:速度一定时,磁感应强度反向,洛伦兹力必反向.

解析:(1)设粒子做圆周运动的半径为 R_1,由牛顿第二定律得 $qv_0B_0=\dfrac{mv_0^2}{R_1}$ ①

据题意由几何关系得 $R_1=d$ ②

联立①②式得 $B_0=\dfrac{mv_0}{qd}$. ③

(2)设粒子做圆周运动的半径为 R_2,加速度大小为 a,由圆周运动公式得:$a=\dfrac{v_0^2}{R_2}$ ④

据题意由几何关系得 $3R_2=d$ ⑤

联立④⑤式得 $a=\dfrac{3v_0^2}{d}$. ⑥

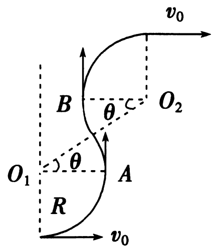
(3)设粒子做圆周运动的半径为 R,周期为 T,由圆周运动公式得 $T=\dfrac{2\pi R}{v_0}$ ⑦

由牛顿第二定律得 $qv_0B_0=\dfrac{mv_0^2}{R}$ ⑧

由题意知 $B_0=\dfrac{4mv_0}{qd}$,代入⑧式得 $d=4R$ ⑨

粒子运动轨迹如图所示,O_1、O_2 为圆心,O_1O_2 连线与水平方向夹角为 θ,在每个 T_B 内,只有 A、B 两个位置才有可能垂直击中 P 板,且均要求 $0<\theta<\dfrac{\pi}{2}$.

由题意可知:$\dfrac{\dfrac{\pi}{2}+\theta}{2\pi}T=\dfrac{T_B}{2}$ ⑩



设经历整个完整 T_B 的个数为 $n(n=0、1、2、3\cdots\cdots)$，若在 A 点击中 P 板，据题意由几何关系得 $R+2(R+R\sin\theta)n=d$ ⑪

当 $n=0$ 时，无解 ⑫

当 $n=1$ 时，联立⑨⑪式得 $\theta=\frac{\pi}{6}\left(或\ \sin\theta=\frac{1}{2}\right)$ ⑬

联立⑦⑨⑩⑬式得 $T_B=\frac{\pi d}{3v_0}$ ⑭

当 $n\geqslant 2$ 时，不满足 $0<\theta<\frac{\pi}{2}$ 的要求 ⑮

若在 B 点击中 P 板，据题意由几何关系得 $R+2R\sin\theta+2(R+R\sin\theta)n=d$ ⑯

当 $n=0$ 时，无解 ⑰

当 $n=1$ 时，联立⑨⑯式得 $\theta=\arcsin\frac{1}{4}\left(或\ \sin\theta=\frac{1}{4}\right)$ ⑱

联立⑦⑨⑩⑱式得 $T_B=\left(\frac{\pi}{2}+\arcsin\frac{1}{4}\right)\frac{d}{2v_0}$ ⑲

当 $n\geqslant 2$ 时，不满足 $0<\theta<\frac{\pi}{2}$ 的要求 ⑳

第十四讲　带电粒子在对接场中的运动

[章节练习]

1. **答案**：BC

分析：本题考查回旋加速器的知识.

解析：粒子在回旋加速器中能达到的最大速度，取决于在最外圈做圆周运动的速度. 根据 $qvB=m\frac{v^2}{R}$，得 $v=\frac{qBR}{m}$，两粒子的比荷 $\frac{q}{m}$ 相等，所以最大速度相等，选项 A 错误. 带电粒子在磁场中运动的周期 $T=\frac{2\pi m}{qB}$，两粒子的比荷 $\frac{q}{m}$ 相等，所以周期相等，选项 B 正确. 最大动能 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{q^2B^2R^2}{2m}$，两粒子的比荷 $\frac{q}{m}$ 相等，但质量不等，所以氦核最大动能大，选项 C 正确. 回旋加速器加速粒子时，粒子在磁场中运动的周期与交流电的周期相同，否则无法加速，选项 D 错误.

2. **答案**:AC

分析:本题考查质谱仪的知识.

解析:根据左手定则,知粒子带正电,选项 A 正确,B 错误;根据半径公式 $r=\frac{mv}{qB}$知,$x=2r=\frac{2mv}{qB}$,又 $qU=\frac{1}{2}mv^2$,联立解得 $x=\sqrt{\frac{8mU}{qB^2}}$,知 x 越大,质量与电量的比值越大,选项 C 正确,D 错误.

3. **答案**:见解析

分析:本题属于"磁场+电场"的问题.

解析:(1)如图所示,粒子进入磁场后做匀速圆周运动.设磁感应强度的大小为 B,粒子质量与所带电荷量分别为 m 和 q,圆周运动的半径为 R_0.

由洛伦兹力公式及牛顿第二定律得 $qv_0B=m\frac{v_0^2}{R_0}$ ①

由题给条件和几何关系可知 $R_0=d$ ②

设电场强度大小为 E,粒子进入电场后沿 x 轴负方向的加速度大小为 a_x,在电场中运动的时间为 t,离开电场时沿 x 轴负方向的速度大小为 v_x.

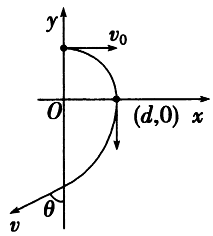
由牛顿第二定律及运动学公式得 $Eq=ma_x$ ③

$v_x=a_xt$ ④

$\frac{v_x}{2}t=d$ ⑤

由于粒子在电场中做类平抛运动,有 $\tan\theta=\frac{v_x}{v_0}$ ⑥

联立①②③④⑤⑥式得 $\frac{E}{B}=\frac{1}{2}v_0\tan^2\theta$. ⑦

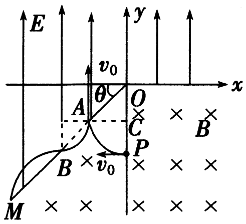


(2)联立⑤⑥式得 $t=\frac{2d}{v_0\tan\theta}$. ⑧

4. **答案**:(1)(-4×10^{-3} m,-4×10^{-3} m)　(2)3.128×10^{-5} s　(3)$2\sqrt{5}\times10^{3}$ m/s

分析:本题属于“磁场+电场+磁场”的类型,粒子在电场中做类竖直上抛运动,磁场中做四分之一圆周运动.

解析:(1)带电微粒从 P 点开始在磁场中做匀速圆周运动,运动轨迹如图所示,第一次经过磁场边界上的 A 点,由半径公式可得 $r=\dfrac{mv_0}{B|q|}=4\times10^{-3}$ m.



因为 $OP=0.8$ cm,匀速圆周运动的圆心在 OP 的中点 C,由几何关系可知,A 点位置的坐标为(-4×10^{-3} m,-4×10^{-3} m).

(2)带电微粒在磁场中做匀速圆周运动的周期为 $T=\dfrac{2\pi m}{B|q|}=1.256\times10^{-5}$ s.

由图可知,微粒运动四分之一个圆周后竖直向上进入电场,故 $t_1=\dfrac{1}{4}T=0.314\times10^{-5}$ s.

微粒在电场中先做匀减速直线运动到速度为零,然后反向做匀加速直线运动,微粒运动的加速度为 $a=\dfrac{|q|E}{m}$,

故在电场中运动的时间为 $t_2=\dfrac{2v_0}{a}=\dfrac{2mv_0}{E|q|}=2.5\times10^{-5}$ s.

微粒再次进入磁场后又做四分之一圆周运动,故 $t_3=t_1=0.314\times10^{-5}$ s,所以微粒从 P 点出发到第三次经过电、磁场边界的时间为 $t=t_1+t_2+t_3=3.128\times10^{-5}$ s.

(3)微粒从 B 点第三次经过电、磁场边界水平向左进入电场后做类平抛运动,则加速度 $a=\dfrac{|q|E}{m}=1.6\times10^{8}\ \text{m/s}^2$,

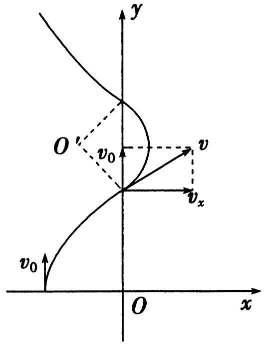
则第四次到达电、磁场边界时,$y=\dfrac{1}{2}at_4^2$,$x=v_0t_4$,$\tan 45°=\dfrac{y}{x}$,

解得 $v_y=at_4=4\times10^{3}$ m/s.

则微粒第四次经过电、磁场边界时的速度大小为 $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=2\sqrt{5}\times10^{3}$ m/s.

5. **答案**:(1) 16 m/s　y 轴正向成 60°　(2) $\dfrac{\pi}{120}$ s　(3) $\left(\dfrac{\sqrt{3}}{100}+\dfrac{\pi}{120}\right)$ s.

分析:本题属于“电场+磁场+电场”类问题,粒子在电场中做类平抛运动,在磁场中的轨迹是劣弧,根据直线边界匀强磁场的对称性,粒子最后进入电场中的运动,可视为类平抛运动的逆过程.



解析:(1)粒子在第二象限做类平抛运动,如图所示,加速度

$a=\frac{qE}{m}=1\ 600\ \text{m/s}^2$,

运动时间 $t_1=\sqrt{\frac{2x}{a}}=\frac{\sqrt{3}}{200}$ s.

沿 y 方向的位移 $y=v_0t=\frac{\sqrt{3}}{25}$ m

粒子通过 y 轴进入磁场时在 x 方向上的速度 $v_x=at_1=8\sqrt{3}$ m/s,

$v=\sqrt{v_0^2+v_x^2}=16$ m/s

因此 $\tan\theta=\frac{v_x}{v_0}=\sqrt{3}$,$\theta=60°$.

(2)粒子在第一象限以 O' 为圆心做匀速圆周运动,圆弧所对的圆心角为 $2\theta=120°$,运动时间 $t_2=\frac{1}{3}T=\frac{1}{3}\cdot\frac{2\pi m}{qB}=\frac{\pi}{120}$ s.

(3)粒子从磁场返回电场后的运动是此前由电场进入磁场运动的逆运动,经时间 $t_3=t_1$,粒子的速度变为 v_0,此后重复前面的运动.可见,粒子在电、磁场中的运动具有周期性,其周期 $T=t_1+t_2+t_3=\left(\frac{\sqrt{3}}{100}+\frac{\pi}{120}\right)$ s.

第十五讲　带电粒子在叠加场中的运动

[章节练习]

1. **答案**:AC

分析:带电粒子做匀速圆周运动,电场力与洛伦兹力的合力提供向心力.

解析:依题中条件"磁场方向垂直于它的运动平面",磁场方向有两种可能,且这两种可能方向相反.在方向相反的两个匀强磁场中,由左手定则可知负电荷所受的洛伦兹力的方向也是相反的.当负电荷所受的洛伦兹力与电场力方向相同时,根据牛顿第二定律可知 $4Bqv=m\frac{v^2}{R}$,得 $v=\frac{4BqR}{m}$,此种情况下,负电荷运动的角速度为 $\omega=\frac{v}{R}=\frac{4Bq}{m}$;当负电荷所受的洛伦兹力与电场力方向相反时,有 $2Bqv=m\frac{v^2}{R}$,$v=\frac{2BqR}{m}$,此种情况下,负电荷运动的角速度为 $\omega=\frac{v}{R}=\frac{2Bq}{m}$,选项 A、C 正确.

2. **答案**:(1)磁感应强度大小为 $B=\frac{\pi m}{3ql}\cdot\sqrt{gl}$　(2)小球 A 释放时刻为 $t_A=(3-2\sqrt{2})\sqrt{\frac{l}{g}}$　(3)见解析

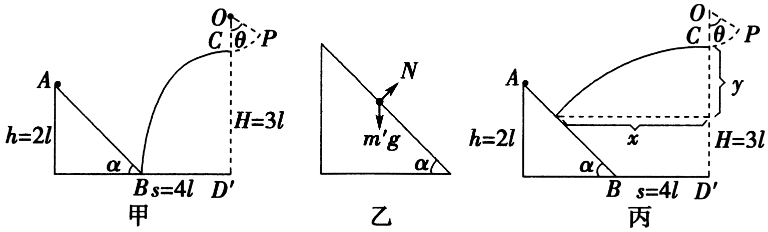
分析:本题有两个研究对象,难度较大.小球 P 在区域Ⅰ和Ⅱ中运动,都属于叠加场问题.

解析:(1)小球 P 在Ⅰ区做匀速圆周运动,则小球 P 必定带正电且所受电场力与重力大小相等.设Ⅰ区磁感应强度大小为 B,由洛伦兹力提供向心力得:$qv_0B=m\frac{v_0^2}{r}$　①

磁感应强度 $B=\frac{mv_0}{qr}$ ②

代入题设数据得：$B=\frac{\pi m}{3ql}\cdot\sqrt{gl}$. ③

(2)小球 P 先在Ⅰ区以 O 为圆心做匀速圆周运动，由小球初速度和水平方向夹角为 θ 可得，小球将偏转 θ 角后自 C 点水平进入Ⅱ区做类平抛运动到斜面底端 B 点，如图甲所示.



设做匀速圆周运动的时间为 t_1，类平抛运动的时间为 t_2 则：$t_1=\frac{\overset{\frown}{PC}}{v_0}$ ④

$\overset{\frown}{PC}=\theta r$ ⑤

$\theta=\frac{\pi}{3}$ ⑥

$t_2=\frac{BD'}{v_0}$ ⑦

$BD'=s-2l\cot\alpha$ ⑧

小球 A 自斜面顶端释放后将沿斜面向下做匀加速直线运动，设加速度的大小为 a_1，释放后在斜面上运动时间为 t_3.

对小球 A 受力分析，设小球质量为 m'，斜面对小球的支持力为 N，如图乙所示.

由牛顿第二定律得：$m'g\sin\alpha=m'a_1$ ⑨

根据位移公式有 $\frac{2l}{\sin\alpha}=\frac{1}{2}a_1t_3^2$ ⑩

小球 A 的释放时刻 t_A 满足：$t_A=t_1+t_2-t_3$ ⑪

联立④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪得：$t_A=(3-2\sqrt{2})\sqrt{\frac{l}{g}}$. ⑫

(3)小球 A、P 在 $t=\beta\sqrt{\frac{l}{g}}$ 时刻在斜面上相遇即小球 P 运动的时间为 t，小球 P 从开始运动至斜面上先做 t_1 时间的匀速圆周运动，然后自 C 点进入Ⅱ区做类平抛运动，设运动时间为 t_4，加速度为 a_2，电场强度为 E，以竖直向下为正：$t=t_1+t_4$ ⑬

根据牛顿第二定律：$qE+mg=ma_2$ ⑭

类平抛运动在水平方向，竖直方向满足：$x=v_0t_4$、$y=\frac{1}{2}a_2t_4^2$ ⑮

由图丙中几何关系：$H-y=x-2l$ ⑯

联立④⑤⑥⑬⑭⑮⑯得：$E=\frac{(11-\beta^2)}{q(\beta-1)^2}mg$ ⑰

小球 P 落在斜面上则：$2l\leqslant x\leqslant 4l$，$l\leqslant y\leqslant 3l$ ⑱

$3\leqslant\beta\leqslant 5$ ⑲

将⑲带入⑰讨论单调性得：$-\frac{7mg}{8q}\leqslant E\leqslant\frac{mg}{2q}$ ⑳

其中“＋、－”代表方向，电场强度向上时大小的范围为 $0\leqslant E\leqslant\frac{7mg}{8q}$，电场强度向下时大小的范围为 $0\leqslant E\leqslant\frac{mg}{2q}$，所以电场的极大值为 $\frac{7mg}{8q}$，竖直向上；极小值为 0.

3. **答案**：AD

分析：磁流体发电机的物理情景，与速度选择器、霍尔效应相似，都有电场力与洛伦兹力的平衡.

解析：等离子体射入匀强磁场，由左手定则，正粒子向上偏转，负粒子向下偏转，产生竖直向下的电场，正离子受向下的电场力和向上的洛伦兹力，当电场力和洛伦兹力平衡时，电场最强，即 $Eq=Bqv$，$E=Bv$，两板间的电动势为 Bvd；作为电源对外供电时，$I=\frac{Bdv}{R+R_{气}}$ 而 $R_{气}=\frac{1d}{gS}$，二式结合，$I=\frac{BdvSg}{gSR+d}$. 选项 A、D 正确.

4. **答案**：CD

分析：流量计的物理原理也与磁流体发电机相似.

解析：根据左手定则，知负离子所受的洛伦兹力方向向下，则向下偏转，N 板带负电，M 板带正电，则 N 板的电势比 M 板电势低，选项 A 错误；最终离子在电场力和洛伦兹力作用下平衡，有 $qvB=q\frac{U}{c}$，解得 $U=vBc$，与离子浓度无关，选项 B 错误；污水的流速：$v=\frac{U}{Bc}$，则流量 $Q=vbc=\frac{Ub}{B}=\frac{1\times0.2}{1.25}$ $m^3/s=0.16$ m^3/s，选项 C 正确；污水的流速 $v=\frac{U}{Bc}=\frac{1}{1.25\times0.2}$ m/s$=4$ m/s；污水流过该装置时受到阻力 $f=kLv=kav=15\times1\times4$ N$=60$ N；为使污水匀速通过该装置，左、右两侧管口应施加的压力差是 60 N，则压强差为 $\Delta p=\frac{F}{S}=\frac{60}{0.2\times0.2}$ Pa$=1\,500$ Pa，选项 D 正确.

5. **答案**：(1)$\frac{\sqrt{2}mg}{q}$　$\frac{mg}{q}$　(2)$\frac{m}{qd_2}\sqrt{\frac{3gd_1}{2}}$　(3)$\sqrt{\frac{2d_1}{g}}+\frac{\pi d_2}{3}\sqrt{\frac{2}{3gd_1}}$

分析：本题既属于对接场问题，也属于叠加场问题，要兼顾两类场的特点解决问题.

解析：(1)微粒在区域Ⅰ内水平向右做直线运动，则在竖直方向上有 $qE_1\sin 45°=mg$

解得 $E_1=\frac{\sqrt{2}mg}{q}$

微粒在区域Ⅱ内做匀速圆周运动，则在竖直方向上有 $mg=qE_2$

则 $E_2=\frac{mg}{q}$.

(2)设微粒在区域Ⅰ内水平向右做直线运动时加速度为 a,离开区域Ⅰ时速度为 v,则

$a=\dfrac{qE_1\cos 45^\circ}{m}=g$

$v^2=2ad_1$

在区域Ⅱ内做匀速圆周运动的轨道半径为 R,则 $R\sin 60^\circ=d_2$

洛伦兹力提供向心力 $qvB=m\dfrac{v^2}{R}$

解得 $B=\dfrac{m}{qd_2}\sqrt{\dfrac{3gd_1}{2}}$.

(3)微粒在区域Ⅰ内做匀加速直线运动,$t_1=\sqrt{\dfrac{2d_1}{a}}=\sqrt{\dfrac{2d_1}{g}}$

在区域Ⅱ内做匀速圆周运动的圆心角为 60°,$T=\dfrac{2\pi m}{qB}$

则 $t_2=\dfrac{T}{6}=\dfrac{\pi d_2}{3}\sqrt{\dfrac{2}{3gd_1}}$

解得 $t=t_1+t_2=\sqrt{\dfrac{2d_1}{g}}+\dfrac{\pi d_2}{3}\sqrt{\dfrac{2}{3gd_1}}$.

6. **答案**:(1)20 m/s　与电场方向成 60°角斜向上　(2)3.5 s

分析:撤掉磁场之前做匀速直线运动,合力为零;之后做类斜上抛运动.

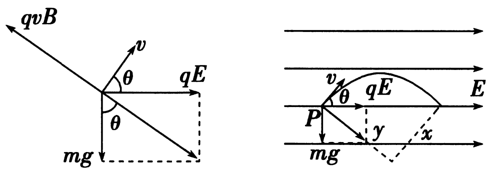
解析:(1)小球匀速直线运动时受力如图甲所示,其所受的三个力在同一平面内,合力为零,有 $qvB=\sqrt{q^2E^2+m^2g^2}$　①

代入数据解得 $v=20$ m/s　②

速度 v 的方向与电场 E 的方向之间的夹角满足 $\tan\theta=\dfrac{qE}{mg}$　③

代入数据解得 $\tan\theta=\sqrt{3}$

$\theta=60^\circ$.　④



甲　　乙

(2)撤去磁场,小球在重力与电场力的合力作用下做类平抛运动,如图乙所示,设其加速度为 a,有 $a=\dfrac{\sqrt{q^2E^2+m^2g^2}}{m}$　⑤

设撤去磁场后小球在初速度方向上的分位移为 x,有 $x=vt$　⑥

设小球在重力与电场力的合力方向上分位移为 y,有 $y=\frac{1}{2}at^2$ ⑦

$\tan\theta=\frac{y}{x}$ ⑧

联立④⑤⑥⑦⑧式,代入数据解得 $t=2\sqrt{3}\text{ s}=3.5\text{ s}$. ⑨

第十六讲　粒子源问题讨论

[**章节练习**]

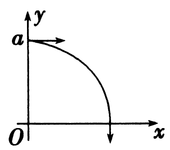
1. **答案**:(1)$\frac{qBa}{m}$　(2)$\frac{5\pi m}{6qB}$,粒子初速度与 y 轴正方向夹角为 30°　(3)$\sqrt{\frac{2q^2B^2a^2}{m^2}+\frac{2qEb}{m}}$

分析:本题是粒子速度大小相等方向不同的粒子源问题.

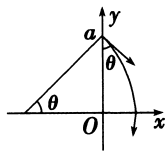
解析:(1)粒子运动规律如图甲所示.粒子运动的圆心在 O 点,轨迹半径 $r_1=a$

由牛顿第二定律得:$qv_1B=m\frac{v_1^2}{r_1}$

解得:$v_1=\frac{qBa}{m}$.



甲



乙

(2)当粒子初速度与 y 轴正方向夹角为 30°时,粒子运动的时间最长,此时轨道对应的圆心角 $\alpha=150°$

粒子在磁场中运动的周期:$T=\frac{2\pi m}{qB}$

粒子的运动时间:$t=\frac{\alpha}{360°}T=\frac{150°}{360°}\times\frac{2\pi m}{qB}=\frac{5\pi m}{6qB}$.

(3)如图乙所示,设粒子射入磁场时速度方向与 y 轴负方向的夹角为 θ,由几何知识得:$R-R\cos\theta=(\sqrt{2}-1)a$,$R\sin\theta=a$

解得:$\theta=45°$,$R=\sqrt{2}a$

此粒子进入磁场的速度 $v_0=\frac{qBR}{m}=\frac{\sqrt{2}qBa}{m}$

设粒子到达 y 轴上速度为 v,根据动能定理得:$qEb=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

解得:$v=\sqrt{\frac{2q^2B^2a^2}{m^2}+\frac{2qEb}{m}}$.

2. **答案**:AD

分析:本题是粒子源问题加圆形磁场问题.

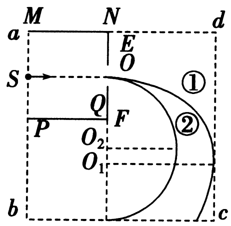
解析:由圆的性质可知,轨迹圆与磁场圆相交,当轨迹圆的弦长最大时偏向角最大,故应该使弦长为 PQ,由 Q 点飞出的离子圆心角最大,所对应的时间最长,轨迹不可能经过圆心 O 点,选项 A、D 正确,B 错误;因洛伦兹力永不做功,故粒子在磁场中运动时动能保持不变,但由于不知离子的初动能,故飞出时的动能不一定相等,选项 C 错误.

3. **答案**:(1)2.0×10^5 m/s　(2)9.375×10^2 N/C$<E<1.25\times10^3$ N/C

分析:本题属于粒子速度方向相同大小不等的粒子源问题.

解析:(1)穿过孔 O 的离子在金属板间需满足 $qv_0B=Eq$,代入数据得 $v_0=2.0\times10^5$ m/s;

(2)穿过孔 O 的离子在金属板间仍需满足 $qvB=Eq$.离子穿过孔 O 后在磁场中做匀速圆周运动,有 $qvB=m\dfrac{v^2}{r}$,



由以上两式得 $E=\dfrac{qB^2r}{m}$.

从 bc 边射出的离子,轨迹半径最大时,其临界轨迹如图线①所示,对应的电场强度最大,由几何关系可得 $r_1=l=0.1$ m,

由此可得 $E_1=1.25\times10^3$ N/C.

从 bc 边射出的离子,轨迹半径最小时,其临界轨迹如图线②所示,对应的电场强度最小,由几何关系可得

$2r_2+\dfrac{l}{2}=L$,所以 $r_2=0.075$ m,

由此可得 $E_2=9.375\times10^2$ N/C.

所以满足条件的电场强度范围为 9.375×10^2 N/C$<E<1.25\times10^3$ N/C.

选修 3-2　电磁感应

第十七讲　楞次定律和法拉第电磁感应定律

[**章节练习**]

1. **答案**:B

分析:本题着重训练计算动生电动势的方法,对等效切割长度的理解至关重要.

解析:金属杆的运动方向与金属杆不垂直,电路中感应电动势的大小为 $E=Blv$(l 为切割磁感线的有效长度),选项 A 错误;电路中感应电流的大小为 $I=\dfrac{E}{R}=\dfrac{Blv}{\dfrac{l}{\sin\theta}r}=\dfrac{Bv\sin\theta}{r}$,选项 B 正确;金属杆所受安培力的大小为 $F=BIl'=B\cdot\dfrac{Bv\sin\theta}{r}\cdot\dfrac{l}{\sin\theta}=\dfrac{B^2lv}{r}$,选项 C 错误;金属杆的热功率为 $P=I^2R=\dfrac{B^2v^2\sin^2\theta}{r^2}\cdot\dfrac{lr}{\sin\theta}=\dfrac{B^2lv^2\sin\theta}{r}$,选项 D 错误.

2. **答案**:AB

分析:法拉第圆盘是发电机的始祖.可以把圆盘沿径向微元分割为很多很多辐条状导体棒,每根导体棒转动切割磁感线产生电动势.

解析:将圆盘看成无数幅条组成,它们都在切割磁感线从而产生感应电动势和感应电流,根据右手定则可知圆盘上感应电流从边缘流向中心,则当圆盘顺时针(俯视)转动时,流过电阻的电流方向从 a 到 b,选项 B 正确;由法拉第电磁感应定律得感生电动势 $E=BL\bar{v}=\frac{1}{2}BL^2\omega$,$I=\frac{E}{R+r}$,$\omega$ 恒定时,I 大小恒定,ω 大小变化时,I 大小变化,方向不变,选项 A 正确,C 错误;由 $P=I^2R=\frac{B^2L^4\omega^2R}{4(R+r)^2}$知,当 ω 变为 2 倍时,P 变为原来的 4 倍,选项 D 错误.

3. **答案**:D

分析:本题着重训练感生型电动势的计算方法;需要强调的是 $B-t$ 图象斜率的物理意义就是磁感应强度的变化率.

解析:由法拉第电磁感应定律可得 $E=n\frac{\Delta BS}{\Delta t}$,由图乙结合数学知识可得 $k=\frac{\Delta B}{\Delta t}=\frac{0.6}{4}$ T/s$=0.15$ T/s,将其代入可求 $E=4.5$ V,选项 A 错误.设平均电流强度为 $\bar{I}$,由 $q=\bar{I}\Delta t=\frac{E}{R+r}\Delta t=n\frac{\Delta\Phi}{(R+r)\Delta t}\Delta t=n\frac{\Delta\Phi}{R+r}$,在 0~4 s 穿过圆形导体线圈的磁通量的变化量为 $\Delta\Phi=0.6\times0.3$ Wb$-0=0.18$ Wb,代入可解得 $q=6$ C,选项 B 错误.0~4 s 内磁感应强度增大,圆形线圈内磁通量增加,由楞次定律结合右手定则可得 b 点电势高,a 点电势低,选项 C 错误.由于磁感应强度均匀变化产生的电动势与电流均恒定,可得 $I=\frac{E}{r+R}=1.5$ A,由焦耳定律可得 $Q=I^2Rt=18$ J,选项 D 错误.

4. **答案**:D

分析:本题着重训练感应电流产生的两个条件.

解析:在选项 A、B、C 三种情况下,穿过线圈 a 的磁通量始终为零,因此不产生感应电流,选项 A、B、C 错误;选项 D 中,当线圈绕垂直于 MN 的直径转动时,穿过线圈的磁通量发生变化,会产生感应电流,选项 D 正确.

5. **答案**:BC

分析:圆环内先产生感应电流,由于是超导材料,电能一直不损耗,电流一直存在.圆环的电流产生一个磁场与圆柱形磁铁之间是斥力作用,使圆环一直处于悬浮状态.

解析:在 B 放入磁场的过程中,穿过 B 的磁通量增加,B 中将产生感应电流,因为 B 是超导体,没有电阻,所以感应电流不会消失,选项 A 错误,B 正确;若 A 的 N 极朝上,在 B 放入磁场的过程中,磁通量增加,根据楞次定律可判断 B 中感应电流的方向为顺时针,选项 C 正确,D 错误.

6. **答案**:B

分析:曲线或折线的等效切割长度等于两端点之间的直线段长度,电流方向不变.

解析:设折弯前导体切割磁感线的长度为 L,$E=BLv$,折弯后导体切割磁感线的有效长度为 $L'=\sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2+\left(\frac{L}{2}\right)^2}=\frac{\sqrt{2}}{2}L$,故产生的感应电动势为 $E'=BL'v=B\cdot\frac{\sqrt{2}}{2}Lv=\frac{\sqrt{2}}{2}E$,所以$\frac{E'}{E}=\frac{\sqrt{2}}{2}$,选项 B 正确.

7. **答案**:(1)$6\times10^3\ \Omega$　(2)4×10^{-2} V　(3)8×10^{-8} J

分析:本题是关于电磁感应的高科技在医疗生活中的简单应用.

解析:(1)由电阻定律得 $R=\rho\frac{2\pi r}{A}$,代入数据得 $R\approx6\times10^3\ \Omega$.

(2)感应电动势 $E=\frac{\Delta B\cdot\pi r^2}{\Delta t}$,代入数据得 $E\approx4\times10^{-2}$ V.

(3)由焦耳定律得 $Q=\frac{E^2}{R}\Delta t$,代入数据得 $Q=8\times10^{-8}$ J.

8. **答案**:(1)方向为 $C\to D$　大小为$\frac{3B\omega r^2}{2R}$　(2)$\frac{9B^2\omega^2r^4}{4R}+\frac{3\mu mg\omega r}{2}$

分析:本题是转动切割问题,里面既有摩擦生热,又有电热;综合性强、难度大,对培养分析问题、解决问题的能力大有帮助.

解析:导体棒转动切割的感应电动势的大小为:

$E=\frac{1}{2}B(2r)^2\omega-\frac{1}{2}Br^2\omega=\frac{3}{2}Br^2\omega$　①

根据右手定则,感应电流的方向是从 B 端流向 A 端. 因此,通过电阻 R 的感应电流的方向是从 C 端流向 D 端.

由欧姆定律可知,通过电阻 R 的感应电流的大小 I 满足:$I=\frac{E}{R}=\frac{3Br^2\omega}{2R}$.　②

(2)在竖直方向有:$mg-2N=0$　③

式中,由于质量分布均匀,内外圆导轨对导体棒的正压力大小相等,其数值为 N. 两导轨对运行的导体棒的滑动摩擦力均为:$f=\mu N$　④

在 Δt 时间内,导体棒在内外圆导轨上扫过的弧长分别为:$l_1=r\omega\Delta t$　⑤

$l_1=2r\omega\Delta t$　⑥

克服摩擦力做的总功为 $W_f=f(l_1+l_2)$　⑦

在 Δt 时间内,消耗在电阻 R 上的功为:$W_R=I^2R\Delta t$　⑧

根据能量转化和守恒定律知,外力在 Δt 时间内做的功为:$W=W_f+W_R$　⑨

外力的功率为:$P=\frac{W}{\Delta t}$　⑩

综合以上各式得:$P=\frac{3}{2}\mu mg\omega r+\frac{9\omega^2B^2r^4}{4R}$.　⑪

9. **答案**:A

分析:本题着重训练有效切割长度的问题,有效切割和等效切割是两个截然不同的概念.

解析:$\theta=0$ 时,产生的感应电动势为 $E_1=B\cdot 2a\cdot v=2Bav$,选项 A 正确;感应电流为 $I_1=\frac{E_1}{R}=\frac{2Bv}{(\pi+2)R_0}$,所以安培力为 $F_1=BI_1\cdot 2a=\frac{4B^2av}{(\pi+2)R_0}$,选项 C 错误;同理,$\theta=\frac{\pi}{3}$ 时,$E_2=Bav$,$F_2=\frac{3B^2av}{(5\pi+3)R_0}$,选项 B、D 均错误.

10. **答案**:B

分析:本题简单考查法拉第电磁感应定律的应用.

解析:由法拉第电磁感应定律知线圈中产生的感应电动势 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=n\frac{\Delta B}{\Delta t}\cdot S=n\frac{2B-B}{\Delta t}\cdot\frac{a^2}{2}$,得 $E=\frac{nBa^2}{2\Delta t}$,选项 B 正确.

第十八讲 涡流、自感、电磁阻尼

[**章节练习**]

1. **答案**:C

分析:电源两端的电势差就是路端电压.

解析:由于磁感应强度均匀增大,故 $\varphi_a-\varphi_b$ 为定值,由楞次定律可得 $\varphi_a<\varphi_b$,故由法拉第电磁感应定律得 $\varphi_a-\varphi_b=-\frac{nS(B_2-B_1)}{t_2-t_1}$,选项 C 正确.

2. **答案**:BC

分析:自感的过程就是电流叠加的过程,实际电流的变化要注意准确用文字去描述.

解析:闭合瞬间,L 相当于断路,A_2 立刻变亮,A_1 逐渐变亮,稳定后,两个灯泡的亮度相同,说明它们两端的电压相同,L 和 R 两端电势差一定相同,选项 B、C 正确,A、D 错误.

3. **答案**:C

分析:把铜管可以微元分割为很多圆环,当磁铁下落时,产生感应电流,阻碍磁铁的下落.

解析:小磁块从铜管 P 中下落时,P 中的磁通量发生变化,P 中产生感应电流,给小磁块一个向上的磁场力,阻碍小磁块向下运动,因此小磁块在 P 中不是做自由落体运动,而塑料管 Q 中不会产生电磁感应现象,因此 Q 中小磁块做自由落体运动,选项 A 错误;P 中的小磁块受到的磁场力对小磁块做负功,机械能不守恒,选项 B 错误;由于在 P 中小磁块下落的加速度小于 g,而 Q 中小磁块做自由落体运动,因此从静止开始下落相同高度,在 P 中下落的时间比在 Q 中下落的时间长,选项 C 正确;根据动能定理可知,落到底部时在 P 中的速度比在 Q 中的速度小,选项 D 错误.

4. **答案**:BCD

分析:载流导线在周围产生非匀强磁场,导体棒切割这个磁场产生感应电流,从而受到电磁阻尼.

解析:由题意可知,根据安培定则,在轨道内的 M 区、N 区通电长直导线产生的磁场分别垂直轨道平面向外和向里,由此可知,当导体棒运动到 M 区时,根据右手定则可以判定,在导体棒内产生的感应电流与长直绝缘导线中的电流方向相反,再根据左手定则可知,金属棒在 M 区时受到的安培力方向向左,因此选项 A 不正确;同理可以判定选项 B 正确;再根据导体棒在 M 区匀速靠近长直绝缘导线时对应的磁场越来越大,因此产生的感应电动势越来越大,根据闭合电路的欧姆定律和安培力的公式可知,导体棒所受的安培力 F_M 也逐渐增大,选项 C 正确;同理选项 D 正确.

5. **答案**:C

分析:如果自感线圈的直流电阻较小(大),则在断电自感时,给与之原来并联的灯泡不仅"反向"供电,而且灯泡必然先亮一下然后熄灭(暗一下然后熄灭).

解析:在开关 S 闭合时,通过线圈的电流大于通过小灯泡的电流,所以在开关 S 由闭合到断开瞬间,通过线圈的电流将流过小灯泡,所以通过小灯泡的电流要突然增大,灯泡有明显的闪亮现象,选项 C 正确.

6. **答案**:AB

分析:这是电磁驱动现象. 首先由于电磁感应在圆盘内产生感应电流,然后小磁针受到磁场力而随之同向转动,但要持续产生感应电流就要异步转动,即小磁针的转动略有滞后.

解析:圆盘运动过程中,半径方向的金属条切割磁感线,在圆心和边缘之间产生了感应电动势,选项 A 正确;圆盘在径向的辐条切割磁感线过程中,内部距离圆心远近不同的点电势不等而形成涡流,产生的磁场又导致磁针转动,选项 B 正确;圆盘转动过程中,圆盘位置、圆盘面积和磁场都没有发生变化,所以没有磁通量的变化,选项 C 错误;圆盘本身呈现电中性,不会产生环形电流,选项 D 错误.

第十九讲　电磁感应力、电、能综合问题

[**章节练习**]

1. **答案**:ACD

分析:本题通过电磁感应把机械能转化为电能,最终导体棒停止,电磁感应消失,沿斜面方向重力的分力等于弹簧弹力.

解析:开始时金属棒切割磁感线产生电动势 $E=BLv_0$,则金属棒与导轨接触点间电压为 $U=0.5E$,选项 A 正确;金属棒释放时,受到沿斜面向上的安培力与沿斜面向下的重力分力,因不知二力大小关系,则不能确定通过 R 的最大电流,选项 B 错误;由于金属棒在运动过程中受到安培力作用,最终金属棒静止,则金属棒沿斜面下滑距离为 $d=\frac{mg\sin\theta}{k}$,应用电流定义式和法拉第电磁感应定律可知通过 R 的电荷量 $q=$

$\frac{BLd}{2R}=\frac{mgBL}{4kR}$，选项 C 正确；从开始到停止，设回路产生的热量为 Q、金属棒静止时弹簧弹性势能为 E_p，对金属棒和回路应用功能关系可知 $Q+E_p=mgd\sin\theta+\frac{1}{2}mv_0^2$，则 $Q=\frac{1}{2}mv_0^2+\frac{(mg)^2}{4k}-E_p$，选项 D 正确.

2. **答案**：AD

分析：一开始，a 杆受到电磁阻尼，b 杆被电磁驱动. b 杆向右的速度达到最大值时，安培力恰等于弹簧弹力.

解析：当 b 杆向右的速度达到最大值时，所受的安培力与弹力相等，此时 $E=BL(v-v_m)$，则安培力 $F_{安}=BL\frac{BL(v-v_m)}{2R}=\frac{B^2L^2(v-v_m)}{2R}$，选项 A 正确；$a$ 杆受到的安培力的大小等于 b 杆受到的安培力的大小，即 $F_{安}=\frac{B^2L^2(v-v_m)}{2R}$，选项 B 错误；因在过程中 a 杆产生的焦耳热为 Q，则 b 杆产生的焦耳热也为 Q，则 a、b 杆与弹簧组成的系统机械能减少量为 $2Q$，选项 C 错误；由能量守恒定律可知，弹簧具有的弹性势能为 $\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_m^2-2Q$，选项 D 正确.

3. **答案**：(1)由 a 流向 b　(2)5 m/s　(3)1.3 J

分析：由于磁场方向在两个区域内恰恰相反，所以被动棒的电磁驱动与主动棒的运动方向相反.

解析：(1)由右手定则可知此时 ab 中电流方向由 a 流向 b.

(2)开始放置 ab 刚好不下滑时，ab 所受摩擦力为最大静摩擦力，设其为 F_{max}，有 $F_{max}=m_1g\sin\theta$　①

设 ab 刚好要上滑时，cd 棒的感应电动势为 E，由法拉第电磁感应定律有 $E=BLv$　②

设电路中的感应电流为 I，由闭合电路欧姆定律有 $I=\frac{E}{R_1+R_2}$　③

设 ab 所受安培力为 $F_{安}$，有 $F_{安}=ILB$　④

此时 ab 受到的最大静摩擦力方向沿斜面向下，由平衡条件有 $F_{安}=m_1g\sin\theta+F_{max}$　⑤

综合①②③④⑤式，代入数据解得 $v=5$ m/s.　⑥

(3)设 cd 棒的运动过程中电路中产生的总热量为 $Q_{总}$，由能量守恒有

$m_2gx\sin\theta=Q_{总}+\frac{1}{2}m_2v^2$　⑦

又 $Q=\frac{R_1}{R_1+R_2}Q_{总}$　⑧

解得 $Q=1.3$ J.　⑨

4. **答案**：1.6 A　1.28 N，方向向左

分析：本题既有感生电动势，又有动生电动势，要格外注意，不可顾此失彼.

解析：Φ 的变化有两个原因，一是 B 的变化，二是面积 S 的变化，显然这两个因素都应当考虑在内，所以有 $E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta B}{\Delta t}S+Blv$

又$\frac{\Delta B}{\Delta t}=2\ \text{T/s}$

在 1 s 末，$B=2\ \text{T}$，$S=lvt=0.4\times1\times1\ \text{m}^2=0.4\ \text{m}^2$

所以 1 s 末，$E=\frac{\Delta B}{\Delta t}S+Blv=1.6\ \text{V}$

此时回路中的电流 $I=\frac{E}{R}=1.6\ \text{A}$

根据楞次定律与右手定则可判断出电流方向为逆时针方向

金属棒 ab 受到的安培力为 $F=BIl=2\times1.6\times0.4\ \text{N}=1.28\ \text{N}$，方向向左.

5. **答案**：AD

分析：本题属于电磁感应力、电、能综合问题.

解析：因线框刚进入磁场时做匀速运动，则 $F=F_{安}+mg\sin\theta$，其中 $F_{安}=\frac{B^2l_1^2v}{R}$，解得 $v=\frac{(F-mg\sin\theta)R}{B^2l_1^2}$，选项 A 正确；由牛顿定律可知，对线框进入磁场前 $F-mg\sin\theta=ma$，则线框进入磁场前的加速度为 $a=\frac{F-mg\sin\theta}{m}$，选项 B 错误；线框进入磁场的过程中，由动能定理 $Fl_2-mg\sin\theta\cdot l_2-W_{安}=0$，故产生的热量为 $Q=W_{安}=(F-mg\sin\theta)l_2$，选项 C 错误；由楞次定律可知，线框进入磁场时有 $a\to b\to c\to d$ 方向的感应电流，选项 D 正确.

6. **答案**：(1)1.5 V　−0.6 V　(2)$F=12.5-3.75x(0\leqslant x\leqslant2)$　图象如解析图所示　(3)7.5 J

分析：本题是导体棒有效切割长度问题，也是力电能综合问题.

解析：(1)金属杆 CD 在匀速运动中产生的感应电动势 $E=Blv(l=d)$，

解得 $E=1.5\ \text{V}$(D 点电势高)

当 $x=0.8\ \text{m}$ 时，金属杆在导轨间的电势差为零. 设此时杆在导轨外的长度为 $l_{外}$，则

$l_{外}=d-\frac{OP-x}{OP}d$，$OP=\sqrt{MP^2-\left(\frac{MN}{2}\right)^2}$，得 $l_{外}=1.2\ \text{m}$

由楞次定律判断 D 点电势高，故 C、D 两端电势差 $U_{CD}=-Bl_{外}v$，即 $U_{CD}=-0.6\ \text{V}$.

(2)杆在导轨间的长度 l 与位置 x 关系是 $l=\frac{OP-x}{OP}d=3-\frac{3}{2}x$

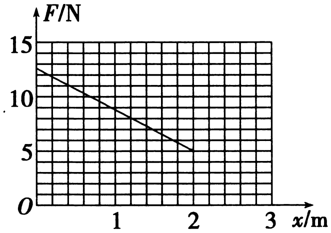
对应的电阻 R_l 为 $R_l=\frac{l}{d}R$，电流 $I=\frac{Blv}{R_l}$

杆受的安培力 $F_{安}=BIl=7.5-3.75x$

根据平衡条件得 $F=F_{安}+mg\sin\theta$

$F=12.5-3.75x(0\leqslant x\leqslant2)$

画出的 $F-x$ 图象如图所示.



(3)外力 F 所做的功 W_F 等于 $F-x$ 图线下所围的面积,即 $W_F=\frac{5+12.5}{2}\times2\ \text{J}=17.5\ \text{J}$

而杆的重力势能增加量 $\Delta E_p=mgOP\sin\theta=10\ \text{J}$

故全过程产生的焦耳热 $Q=W_F-\Delta E_p=7.5\ \text{J}$.

7. **答案**:(1)$\frac{1}{4}mv_1^2$ (2)$\frac{2Bd(L-d\cot\theta)}{R}$ (3)$\frac{1}{L}\sqrt{\frac{mg(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)R}{(\cos\alpha-\mu\sin\alpha)v_2}}$ $\frac{\mu L\tan\theta}{(1+\mu^2)\sin\alpha\cos\alpha+\mu}$

分析:本题属于电磁感应力、电、能综合问题,也是双棒问题,要两棒兼顾分析.

解析:(1)设 ab 棒的初动能为 E_k,ef 棒和电阻 R 在此过程产生的热量分别为 W 和 W_1,有

$W+W_1=E_k$ ①

且 $W=W_1$ ②

由题有 $E_k=\frac{1}{2}mv_1^2$ ③

得 $W=\frac{1}{4}mv_1^2$. ④

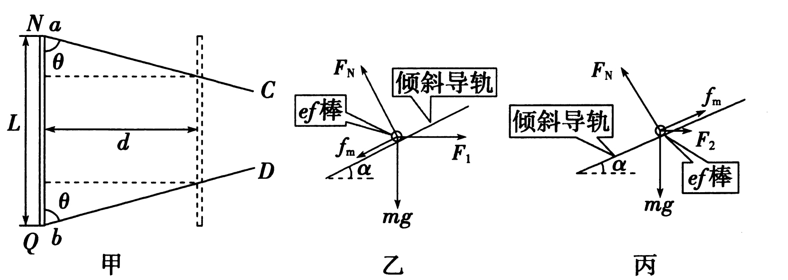
(2)设在题设过程中,ab 棒滑行时间为 Δt,扫过的导轨间的面积为 ΔS,通过 ΔS 的磁通量为 $\Delta\Phi$,ab 棒产生的电动势为 E,ab 棒中的电流为 I,通过 ab 棒某横截面的电量为 q,则 $E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ⑤

且 $\Delta\Phi=B\Delta S$ ⑥

电流 $I=\frac{q}{\Delta t}$ ⑦

又有 $I=\frac{2E}{R}$ ⑧

由图甲所示 $\Delta S=d(L-d\cot\theta)$ ⑨



联立⑤~⑨,解得 $q=\frac{2Bd(L-d\cot\theta)}{R}$. ⑩

(3)ab 棒滑行距离为 x 时，ab 棒在导轨间的棒长为 $L_x=L-2x\cot\theta$ ⑪

此时，ab 棒产生电动势 E_x 为 $E_x=Bv_2L_x$ ⑫

流过 ef 棒的电流 I_x 为 $I_x=\dfrac{E_x}{R}$ ⑬

ef 棒所受安培力 F_x 为 $F_x=BI_xL$ ⑭

联立⑪～⑭，解得 $F_x=\dfrac{B^2v_2L}{R}(L-2x\cot\theta)$ ⑮

由⑮式可得，F_x 在 $x=0$ 和 B 为最大值 B_m 时有最大值 F_1.

由题知，ab 棒所受安培力方向必水平向左，ef 棒所受安培力方向必水平向右，使 F_1 为最大值的受力分析如图乙所示，图中 f_m 为最大静摩擦力，有

$F_1\cos\alpha=mg\sin\alpha+\mu(mg\cos\alpha+F_1\sin\alpha)$ ⑯

联立⑮⑯，得 $B_m=\dfrac{1}{L}\sqrt{\dfrac{mg(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)R}{(\cos\alpha-\mu\sin\alpha)v_2}}$ ⑰

⑰式就是题目所求最强磁场的磁感应强度大小，该磁场方向可竖直向上，也可竖直向下.

由⑮式可知，B 为 B_m 时，F_x 随 x 增大而减小，x 为最大 x_m 时，F_x 为最小值 F_2，如图丙可知

$F_2\cos\alpha+\mu(mg\cos\alpha+F_2\sin\alpha)=mg\sin\alpha$ ⑱

联立⑮⑰⑱解得 $x_m=\dfrac{\mu L\tan\theta}{(1+\mu^2)\sin\alpha\cos\alpha+\mu}$. ⑲

第二十讲　电磁感应的图象问题

［章节练习］

1. **答案**：D

分析：本题是电磁感应的图象问题，也是 STS 问题.

解析：若将刷卡速度改为 $\dfrac{v_0}{2}$，线圈切割磁感线运动时产生的感应电动势大小将会减半，周期将会加倍，故仅有选项 D 正确.

2. **答案**：C

分析：本题要根据牛顿第二定律列式，结合图象的斜率解决.

解析：线框进入磁场过程中受到的安培力 $F=BIl=\dfrac{B^2l^2v}{R}$，线框切割磁感线的有效长度 l 增大，安培力增大，由牛顿第二定律得：$mg-F=ma$，得 $a=g-\dfrac{B^2l^2v}{mR}$，线框由静止加速，由于 l、v 不断增大，a 不断减小，则线框做加速度减小的加速运动，选项 C 正确.

3. **答案**:AC

分析:本题要用到安培力的二级结论,同时要注意导体棒的有效切割长度.

解析:导体棒在左半区域时,根据右手定则,通过导体棒的电流方向向上,电流由 M 经 R 到 N 为正值,且逐渐变大,导体棒在右半区域时,根据右手定则,通过导体棒的电流方向向下,电流为负值,且逐渐减小,且满足经过分界线时感应电流大小突然加倍,选项 A 正确,B 错误;根据第一段时间内安培力大小 $F=BIL=\frac{B^2L^2v}{R}=\frac{B^2(2vt)^2v}{R}\propto t^2$,可得选项 C 正确,D 错误.

4. **答案**:C

分析:这是两个线圈之间的互感现象,需分段讨论.

解析:通电线圈中产生的磁场 $B=kI$(k 为比例系数);在另一线圈中的磁通量 $\Phi=BS=kIS$,由法拉第电磁感应定律可知,在另一线圈中产生的感应电动势 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$,由图(b)可知,$|U_{cd}|$不变,则$\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$不变,故$\left|\frac{\Delta I}{\Delta t}\right|$不变,选项 C 正确.

5. **答案**:CD

分析:本题的电流方向没有规定,这是导致多解性的根源.

解析:由图乙可知,0~1 s 内,线框中磁通量的变化率相同,故 0~1 s 内电流的方向相同,由楞次定律可知,电路中电流方向为逆时针;同理可知,1~2 s 内电路中的电流为顺时针,2~3 s 内,电路中的电流为顺时针,3~4 s 内,电路中的电流为逆时针,由 $E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta B\cdot S}{\Delta t}$可知,电路中电流大小恒定不变.所以本题正确答案为 C、D.

6. **答案**:BC

分析:速度时间图象是最为重要的图象之一,根据图象判断线框的物理情景也是电磁感应常见问题之一.

解析:在 $t=1$ s 到 3 s 内,线框做匀加速运动,没有感应电流,线框不受安培力,则有 $F=ma$,由运动图象的斜率表示加速度,求得 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=0.5\ \text{m/s}^2$,则 $F=0.5$ N,选项 A 错误;$t=0$ 时,线框右侧边 NM 的两端电压为路端电压,总的感应电动势为 $E=1$ V,路端电压为 $U=\frac{3}{4}E=0.75$ V,选项 B 正确;由(b)图象可知,在 $t=3$ s 时刻线框到达 2 位置开始离开匀强磁场时与线框进入时速度相同,则线框出磁场与进磁场运动情况完全相同,则知线框完全离开磁场的瞬间位置 3 速度与 $t=1$ s 时刻的速度相等,即为 2 m/s,选项 C 正确,D 错误.

7. **答案**：B

分析：图象问题要注意关于正方向的规定，本题也是电磁驱动问题.

解析：由右手定则可知 ab 中感应电流的方向向上，由法拉第电磁感应定律得 $E=BLv$，由欧姆定律得 $I=\frac{BLv}{R}$. 感应电流从上向下流过 cd 棒，由左手定则可知，产生的安培力向右，大小为 $F=BIL=\frac{B^2L^2v}{R}$，对 cd 进行受力分析可知，cd 棒竖直方向受到重力和轨道的支持力；水平方向受到安培力和摩擦力的作用，由共点力的平衡可得，水平方向受到的摩擦力与安培力大小相等，方向相反，即方向向左，大小为 $f=F=\frac{B^2L^2v}{R}$，可得大小与速度 v 成正比，与速度的方向相反，选项 B 正确，A、C、D 错误.

8. **答案**：C

分析：本题考查等效切割问题.

解析：开始时进入磁场切割磁感线，根据右手定则可知，电流方向为逆时针，即为正方向，当开始出磁场时，回路中磁通量减小，产生的感应电流为顺时针，方向为负方向；当进入磁场时，切割的有效长度变大，则产生的感应电流也变大，但变大的速度越来越慢；当离开磁场时，切割的有效长度变小，则产生的感应电流也变小，选项 A、B、D 错误，C 正确.

9. **答案**：C

分析：本题也是等效切割长度问题.

解析：由楞次定律可知当 bc 进入匀强磁场至其离开时，线圈磁通量逐渐增大感应电流为负、并且由于磁通量的变化速率在逐渐减小故感应电流的大小应逐渐减小，同理 bc 离开匀强磁场后，线圈磁通量逐渐减小感应电流为正、并且由于磁通量的变化速率在逐渐减小故感应电流的大小应逐渐减小，所以选项 A、B、D 错误、C 正确.

选修 3-2　交流电

第二十一讲　交流电的产生与描述

[**章节练习**]

1. **答案**：AC

分析：本题训练正弦式交流电产生的基础知识.

解析：根据 $i-t$ 图象可知，交流电的最大值为 $10\sqrt{2}$ A，所以电流表的示数(有效值)为 10 A，选项 A 正确. 交流电的周期 $T=0.02$ s，线圈转动的角速度 $\omega=\frac{2\pi}{T}=100\pi$ rad/s，选项 B 错误. 0.01 s 时，感应电流达到峰值，线圈平面与磁场方向平行，选项 C 正确. 0.02 s 时，线圈又回到题图所示位置，根据右手定则可以判断，电阻 R 中电流的方向自左向右，选项 D 错误.

2. **答案**:AC

分析:本题考查自行车头灯交流电的产生原理.

解析:摩擦轮带动线圈在磁场中绕垂直于磁感线的轴转动,产生交流电,选项 A 正确;行驶速度会影响感应电动势的大小,所以影响灯泡的亮度,选项 B 错误;摩擦轮和后轮属于皮带传动,具有相同的线速度,如果知道了半径关系,就能知道角速度关系,也就能知道转速关系,选项 C 正确;线圈匝数与线圈磁通量的变化率无关,选项 D 错误.

3. **答案**:AC

分析:本题考查正弦式交流电瞬时值的图象.

解析:$t=0$ 时刻,两次产生的交流电的电动势瞬时值均为零,因此线圈平面均与中性面重合,选项 A 正确;图中 a、b 对应的周期之比为 2∶3,因此线圈转速之比 $n_a:n_b=\frac{1}{T_a}:\frac{1}{T_b}=3:2$,选项 B 错误;$a$ 线表示的交流电动势的频率为 $f_a=\frac{1}{T_a}=\frac{1}{4\times10^{-2}}\ \text{Hz}=25\ \text{Hz}$,选项 C 正确;$a$ 线对应线圈相应的电动势的最大值 $E_{ma}=NBS\cdot\frac{2\pi}{T_a}$,由图象知 $E_{ma}=15\ \text{V}$,b 线对应线圈相应的电动势的最大值 $E_{mb}=NBS\cdot\frac{2\pi}{T_b}$,因此 $\frac{E_{mb}}{E_{ma}}=\frac{T_a}{T_b}=\frac{2}{3}$,$E_{mb}=10\ \text{V}$,有效值 $E_b=\frac{10}{\sqrt{2}}\ \text{V}=5\sqrt{2}\ \text{V}$,选项 D 错误.

4. **答案**:(1)40 V　2 A　(2)80 W　(3)0.04 C

分析:本题考查交流电四值的不同用途.

解析:(1)感应电动势最大值 $E_m=NBS\omega=50\sqrt{2}\ \text{V}$,有效值:$E=\frac{E_m}{\sqrt{2}}=50\ \text{V}$,$I=\frac{E}{R+r}=2.0\ \text{A}$.$U=IR=40\ \text{V}$.

(2)电阻 R 上所消耗的电功率 $P=IU=80\ \text{W}$.

(3)通过 R 上的电量 $Q=\bar{I}\Delta t=\frac{N\Delta\Phi}{R+r}=\frac{NBS}{R+r}=0.04\ \text{C}$.

5. **答案**:B

分析:本题训练交流电有效值的计算办法.

解析:由有效值定义可得 $\frac{U^2}{R}\times1\ \text{s}=(0.1\ \text{A})^2\times R\times0.4\ \text{s}\times2+(0.2\ \text{A})^2\times R\times0.1\ \text{s}\times2$,其中 $R=100\ \Omega$,可得 $U=4\sqrt{10}\ \text{V}$,选项 B 正确.

6. **答案**:$55\sqrt{10}$ V

分析:本题训练交流电有效值的计算办法.

解析:由有效值的定义式得 $\frac{\left(\frac{110\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\right)^2}{R}\times\frac{T}{2}+\frac{\left(\frac{-220\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\right)^2}{R}\times\frac{T}{2}=\frac{U^2}{R}T$,得 $U=55\sqrt{10}\ \text{V}$.

7. **答案**:CD

分析:本题结合图象训练正弦式交流电的产生和描述.

解析:由题图可知,此交流电的周期 $T=0.02\ \text{s}$,$E_m=22\sqrt{2}\ \text{V}$,且 $t=0$ 时刻,线圈在中性面位置,$t=0.01\ \text{s}$ 时穿过线框的磁通量最大,选项 A 错误;交变电动势的瞬时值表达式为 $e=22\sqrt{2}\sin(100\pi t)\text{V}$,选项 C 正确;交变电动势的有效值为 22 V,B 错误;当 $e=22\ \text{V}$ 时,$t=\frac{1}{8}T$,即线圈平面与中性面的夹角为 45°,选项 D 正确.

8. **答案**:D

分析:本题结合图象训练正弦式交流电的产生和描述.

解析:零时刻感应电动势为 0,磁通量变化最慢,线圈应与磁场垂直,选项 A 错误;感应电动势的周期为 0.02 s,转速为 50 r/s,选项 B 错误;感应电动势的最大值 $E_m=NBS\omega=N\Phi_m\omega$,$\omega=\frac{2\pi}{T}$,$\Phi_m=BS=\frac{311}{11\,000\pi}$ Wb,选项 C 错误;线圈转一周所产生的电热 $Q=\frac{E_m^2}{2R}\times T=9.68\ \text{J}$,选项 D 正确.

9. **答案**:ABD

分析:本题着重训练正弦式交流电有效值与最大值的关系,以及最大值的计算公式.

解析:交流电电压有效值 $U=\frac{100\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\ \text{V}=100\ \text{V}$,选项 A 正确;电流表的示数为 $I=\frac{100}{50}\ \text{A}=2\ \text{A}$,选项 B 正确;从图乙中可得交流电周期为 $T=0.02\ \text{s}$,所以角速度 $\omega=\frac{2\pi}{T}=100\pi\ (\text{rad/s})$,选项 C 错误;根据公式 $E_m=NBS\omega$ 可得如果产生该交变电流的线圈转速提高一倍,则产生的感应电动势提高一倍,所以电流提高一倍,选项 D 正确.

10. **答案**:ABD

分析:从正弦式交流电瞬时值表达式的推导过程可知,表达式与转轴的位置无关.

解析:线圈转动产生正弦式交变电流,感应电动势的最大值为 $Bl_1l_2\omega$,所以有效值 $E=\frac{\sqrt{2}}{2}Bl_1l_2\omega$,选项 A 正确;转过 π 时,线圈平面与磁场垂直,磁通量最大,感应电动势为 0,电流为 0,选项 B 正确;转过一周通过横截面的电荷量为 0,选项 C 错误;转过 π 过程的热量 $Q=\frac{E^2}{R}t=\frac{E^2\pi}{R\omega}=\frac{\pi B^2l_1^2l_2^2\omega}{2R}$,选项 D 正确.

第二十二讲　变压器与电能的输送

［章节练习］

1. **答案**:C

分析:本题着重训练变压器的动态讨论问题.

解析:因为变压器输入电压不变即 U_1 不变,而变压器原、副线圈的匝数比是固定的,根据$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$,所以 U_2 不变,V_2 不变.当负载电阻的滑片向上滑动时,电阻增大,$I_2=\frac{U_2}{R}$,则负载电路的电流减小,即 A_2 减小.又因为$\frac{n_1}{n_2}=\frac{I_2}{I_1}$,所以 A_1 减小,理想变压器两端电功率是相等的,根据 $P=UI$,得输入功率减小,因此选项 C 正确.

2. **答案**:C

分析:本题着重训练远距离输电问题.

解析:原线圈电压的有效值:$U_1=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$,根据$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$可求:$U_2=\frac{n_2}{n_1}\frac{U_m}{\sqrt{2}}$,又因为是理想变压器,所以 T 的副线圈的输出功率等于原线圈的输入功率 P,所以输电线上的电流 $I=\frac{P}{U_2}$,输电线上损失的电功率为 $P'=I^2 2r=4r\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2\left(\frac{P}{U_m}\right)^2$,因此选项 C 正确,A、B、D 错误.

3. **答案**:B

分析:本题是两组副线圈的变压器讨论问题,关于此类问题,要格外注意电流与匝数成反比的关系已经不再成立,这是一个易错点.

解析:变压器原副线圈的磁通量变化率相同,所以 $U:U_1:U_2=n:n_1:n_2$,根据能量守恒,输出功率等于输入功率,所以当只闭合 S_1 时有 $UI=\frac{U_1^2}{R_1}$,当 S_1 和 S_2 都闭合时,$UI'=\frac{U_1^2}{R_1}+\frac{U_2^2}{R_2}=\frac{4U_1^2+U_2^2}{4R_1}$,代入数据 $I=1$ A、$I'=2$ A 可得 $U_2^2=4U_1^2$,即 $U_1:U_2=1:2$,所以 $n_1:n_2=1:2$,选项 B 正确.

4. **答案**:AC

分析:本题是两组副线圈的变压器讨论问题.

解析:由电压公式知输入电压的有效值为 $U_0=100$ V,S 断开时,根据电压与匝数成正比知输出电压为 10 V,S 断开时,由欧姆定律知,副线圈中的电流为$\frac{10}{5+15}$ A=0.5 A,根据电流与匝数成反比得,原线圈中电流为 0.05 A,选项 A 正确;开关 S 断开时,两电阻总的电功率为 $UI=10\times0.5$ W=5 W,选项 D 错误;S 闭合时,相当于有两个副线圈,电压仍然与匝数成正比,但电流与匝数不再成反比,因 O 是副线圈中心抽出的线头,两电阻两端电压均为 5 V,两副线圈中电流分别为 $I_1=\frac{5}{5}$ A=1 A 和 $I_2=\frac{5}{15}$ A=$\frac{1}{3}$ A,所以由 $IU_0=I_1U_1+I_2U_2$ 得,原线圈中电流为 $I=\frac{1\times5+\frac{1}{3}\times5}{100}$ A=$\frac{1}{15}$ A,选项 B 错误;S 闭合时,两电阻总的电功率为 $P_{总}=I_1U_1+I_2U_2=\frac{20}{3}$ W,选项 C 正确.

5. **答案**:C

分析:本题是自耦变压器的动态讨论问题,可以调节副线圈的匝数,进而达到改变匝数比的作用.

解析:由$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$,$n_1>n_2$ 知 $U_2<U_1$;滑动触头从 M 点顺时针旋转至 N 点的过程中,n_2 减小,则 U_2 降低,C 项正确.

6. **答案**:B

分析:本题着重训练变压器的动态讨论问题.

解析:当滑动变阻器的滑动触头 P 向上滑动时,接入电路的阻值变大,变压器副线圈两端电压不变,副线圈中的电流减小,则 R_1 消耗的功率及其两端电压均变小,故电压表的示数变大,选项 A 错误,B 正确;当滑动变阻器的滑动触头 P 向上滑动时,副线圈中的电流减小,则原线圈中的电流也减小,电流表 A_1 示数变小,选项 C 错误;若闭合开关 S,副线圈电路中总电阻减小,副线圈中的电流变大,R_1 两端电压变大,R_2 两端电压减小,电流表 A_2 示数减小;原线圈中的电流也变大,电流表 A_1 示数变大,选项 D 错误.

7. **答案**:D

分析:本题结合图象考查远距离输电问题.

解析:由图象知 $f=\frac{1}{T}=50\ \text{Hz}$,选项 A 错误;发电机输出交变电流电压的有效值为$\frac{500}{\sqrt{2}}\ \text{V}=250\sqrt{2}\ \text{V}$,选项 B 错误;输电线的电流由降压变压器原、副线圈的匝数比及负载大小决定,选项 C 错误;用电器总电阻变大,则降压器原、副线圈中电流减小,输电线上损失功率也减小,选项 D 正确.

8. **答案**:A

分析:本题考查远距离输电问题.

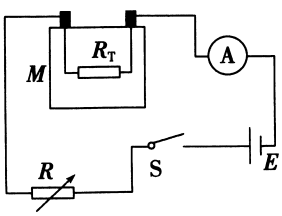
解析:根据理想变压器原、副线圈的功率相等,有 $U_1I_1=U_2I_2$,解得用户端电压为 $U_2=\frac{I_1U_1}{I_2}$,选项 A 正确;输电线上的电压降为 I_1r,选项 B 错误;理想变压器的输入功率为 $UI_1-I_1^2r$,选项 C 错误;输电线路上损失的电功率为 I_1^2r,选项 D 错误.

选修 3-2　传感器

第二十三讲　传感器的工作原理

[章节练习]

1. **答案**:(1)如图所示



(2)d.电阻箱的读数 R_0　e.仍为 I_0　电阻箱的读数 R_1　f. $R_0-R_1+150\ \Omega$

分析:本题着重训练热敏电阻的工作原理,以及分析推理的能力.

解析:(1)电阻箱的最大阻值与热敏电阻的最大阻值相差不大,因此电阻箱应与热敏电阻串联.

(2)本实验原理是当电路的两种状态的电流相等时,外电路的总电阻相等.

95 ℃和 T_1 时对应的电路的电阻相等,有 $150\ \Omega+R_0=R_{T1}+R_1$,即 $R_{T1}=R_0-R_1+150\ \Omega$.

2. **答案**:ABC

分析:本题着重训练光敏电阻的工作原理,以及分析推理的能力.

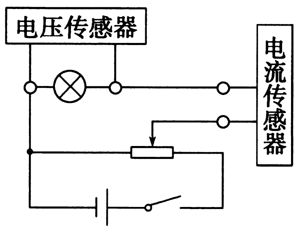
解析:当照射光强度增大时,R_3 阻值减小,外电路电阻随 R_3 的减小而减小,R_1 两端电压因干路电流增大而增大,电压表的示数增大,同时内电压增大,故电路路端电压减小,选项 A 正确,D 错误;由路端电压减小,R_1 两端电压增大知,R_2 两端电压必减小,则 R_2 中电流减小,选项 B 正确;结合干路电流增大知流过小灯泡的电流必增大,则小灯泡的功率增大,选项 C 正确.

3. **答案**:D

分析:本题着重训练力传感器(角速度计)的工作原理,以及分析推理的能力.

解析:系统在水平面内以角速度 ω 转动时,无论角速度增大还是减小,BC 的总电阻不变,根据闭合电路欧姆定律得知,电路中电流保持不变,选项 A、B 均错误;设系统在水平面内以角速度 ω 转动时,弹簧伸长的长度为 x,则对元件 A,根据牛顿第二定律得 $kx=m\omega^2(l+x)$,又输出电压 $U=\frac{R_{BP}}{R_{BC}}E=\frac{x}{l}E$,联立两式得 $x=\frac{m\omega^2 l}{k-m\omega^2}$,$U=\frac{Em\omega^2}{k-m\omega^2}$,选项 C 错误,D 正确.

4. **答案**:(1)A　实验电路图如图所示　(2)0.69(0.66～0.72 均可)　2.33(2.00～2.67 均可)



分析:本题训练传感器在实验中的应用.

解析:(1)根据 $U-I$ 图象可知,电压和电流都取了 0 值,可见滑动变阻器采用分压式,分压式滑动变阻器的总阻值不宜太大,要与小灯泡的阻值(几欧姆)匹配.同时由于小灯泡电阻通常较小,应选用外接法.

(2)当电流为 0.3 A 时,根据 $U-I$ 图象可知电压约为 2.40 V,则此时小灯泡的电功率约为 0.72 W,小灯泡电阻 R 约为 8.00 Ω;图丙中,根据闭合电路的欧姆定律 $I=\frac{E}{r+R}$,电源的内阻约为 2.00 Ω.

获取更多初高中教辅电子书资源，咨询微信：13352881947